

# 2024年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號	200012
參展科別	環境工程
作品名稱	3D仿生昆蟲翅膀感測器設計-利用SERS偵測微量污染物分子
得獎獎項	二等獎

就讀學校	國立臺灣師範大學附屬高級中學
指導教師	李柏翰、劉定宇
作者姓名	呂宸昕

關鍵詞 拉曼光譜、SERS、3D仿生昆蟲翅膀

## 作者簡介



呂宸昕，目前就讀師大附中高三，高一進入李柏翰老師所開設的多元選修班級「量子力學之美，電腦叢集計算」，加入李老師有自己主持Lorenz lab實驗室，和在因緣際會中認識了明志科技大學的劉定宇教授，也得以加入實驗室進行長達2年半的實驗，一路上也經過了許多挑戰但參與了不同的競賽，也在今年特殊選材錄取清華大學材料工程學系，希望能比2023的國際科展更進一步，在2024的比賽有所收穫。

## 摘要

由於環境汙染、食安檢測需求提升，然現有的檢測方式成本和效率都不高，所以本研究試圖用拉曼光譜(Raman spectroscopy)配合表面增強拉曼光譜 **surface-enhanced Raman scattering (SERS)**解決訊號微弱的缺點，來找出成本和時間需求最低的檢測方法來進行檢測。我們選用金龜子、蟬和蝴蝶三種昆蟲的翅膀鍍上奈米厚度的銀(10 nm)來試驗，以符合 SERS 要求的粗糙結構和貴金屬表面，利用熱點效應和表面電漿子共振來增強拉曼光譜的訊號，在實驗中我們也對基板進行了各項檢測，包括 X 光繞射分析(XRD)、原子力顯微鏡(AFM)、水接觸角分析以及電子顯微鏡分析(SEM 和 FESEM)，也對比了各種參數，包括放置時間、鍍銀厚度、藥品濃度等，也加入了環境水檢測，我們也對比了諸多數據，並且找出所期望的成本最低效率最高的基板參數，未來也有望運用在河水汙染檢測或是農藥殘留量檢測，甚至能運用在藥品或是生物樣本檢測，可以說是具有相當發展的潛力。

## Abstract

Given the escalating demand for environmental pollution and food safety testing, current testing methodologies prove both expensive and inefficient. Hence, this study tries to exploit the amalgamation of Raman spectroscopy with surface-enhanced Raman scattering (SERS) to exceed the limitations imposed by feeble signals and engineer a detection technique that is economical and expeditious. Our approach involves experiments with the wings of three distinct insect species - beetles, cicadas, and butterflies - employing nanometer-scale thicknesses of silver (10 nm). This strategy is designed to align with the rough surface structure and noble metal surface prerequisites essential for SERS. Consequently, we capitalize on the augmented Raman signals facilitated by the plasmonic effect and surface plasmon resonance. It takes time to comprehensive experimentation, encompassing a diverse array of tests conducted on the designed substrates. These tests included X-ray diffraction analysis (XRD), atomic force microscopy (AFM), water contact angle analysis, as well as scanning electron microscopy surface morphology analysis (SEM and FESEM). An exhaustive comparative analysis was performed, scrutinizing various parameters, including deposition time, silver thickness, drug concentrations, and environmental water testing. Through meticulous scrutiny and comparative assessment of the extensive dataset, we pinpointed the substrate parameters that initially aligned with our envisaged criteria for achieving optimal cost-efficiency. Looking ahead, this technology harbors immense potential for real-time detection of river water pollution, pesticide residue testing, along with pharmaceutical or biological sample analysis. It can be contended that this technology exhibits substantial developmental promise.

# 壹、前言

## 一、研究動機





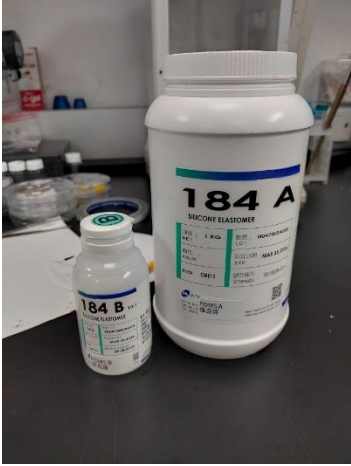

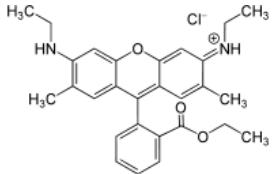

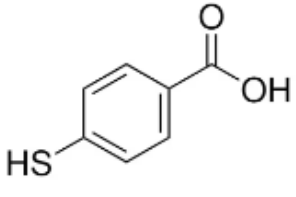
在 2023 年，一個案件“新北市幼兒園疑似不當餵藥案”引起廣大的討論，這個事件喚醒了人們食藥以及用藥的意識，也促使研究單位使用「MS 質譜分析法」進行檢測，檢測時間約為 5-7 天，而所檢測一次需消耗的費用約為 500 元，這耗時的檢測激起一些衝動行為，也延後的檢察官的查驗進度，[1]。台北市政府衛生局（簡稱北市衛生局）食品藥物管理科於 2023 年 2 月 23 日公布「2023 年 1 月生鮮蔬果殘留農藥檢測結果」，至市場、蔬果零售業者、超市、賣場、餐飲店等處，抽驗生鮮蔬果的檢驗殘留農藥，在抽驗的 55 件蔬果產品中，有 12 件產品不符規定，其不合格率為 21.8%，其中以草莓不合格率最高，[2]。近年來環境汙染和食品安全問題層出不窮，人民對於水質和農藥的檢測需求也日益增加，但是目前使用方法往往效率較為低落且成本高昂，因此我們想要研發出一種成本低、檢測效率高、整體 CP 值也可觀的檢測方法，利用增強拉曼光譜的訊號(SERS)方式，以期縮短檢測過程中所需消耗的資源與時間。

## 二、研究目的

本研究主要使用利用光散射的原理來測定對稱性分子振動光譜學的檢測方式—拉曼散射[3-4]，常被運用於化學、生醫等領域的分析工具。拉曼光譜有幾大優點，包括可以檢測含水樣本和檢測快速等，非常有利於檢測生化分子，因此可以說是極度適合運用在我們測量水中物質的題目上 [5]，但是拉曼光譜本身還有一個弱點，那就是他的訊號非常微弱且易受干擾，所以為了解決這個問題，我們採用表面增強拉曼光譜（SERS）這項技術，使用結合了貴金屬奈米陣列及拉曼光譜分析，所形成之「光譜指紋」快速檢測平台的，並且結合仿生3D結構，將貴金屬奈米陣列利用物理蒸鍍法，將金屬銀蒸鍍於可撓式 PDMS 基板上，藉由仿生轉印造成之3D 規則排列的結構，建構成我們所設想的快速又低成本的檢測方法，因為奈米級的結構可造成雷射在3D 結構上多次反射，利用電漿震盪以增強 SERS 之強度，可以使微弱的水中分子訊號，不需經過螢光標定之下，利用 SERS 放大訊號就能夠快速與精準檢測水污染物的目的。

## 貳、研究方法或過程

(一)實驗藥品:

		
<p>DI water</p>	<p>河水(台南筏子溪0508)</p>	<p>金錠 [6]</p>
		
<p>Ethanol</p>	<p>Polydimethylsiloxane(PDMS)</p>	<p>Acetone</p>
		
<p>Rhodamine 6G [7]</p>	<p>銀錠</p>	<p>4-mercaptobenzoic acid (4-MBA)[8]</p>

(二)實驗器材:

離心管	實驗手套	針筒
烘箱	真空球及其幫浦	過濾器
鑷子	耐熱膠帶	塑膠培養皿

二、研究設備及其原理:

(一) 場發式電子顯微鏡(FESEM)觀察基板表面結構：

1. 原理:

SEM 的主要工作原理就是電子鎗將會透過場發射原理或是熱游離來產生高能電子束，將電子束聚焦打在試片上，利用掃瞄線圈偏折電子束，就能夠在試片表面上做二度空間的掃描，當電子束與試片作用時生成各種不同的訊號，經過分析後就能成像。

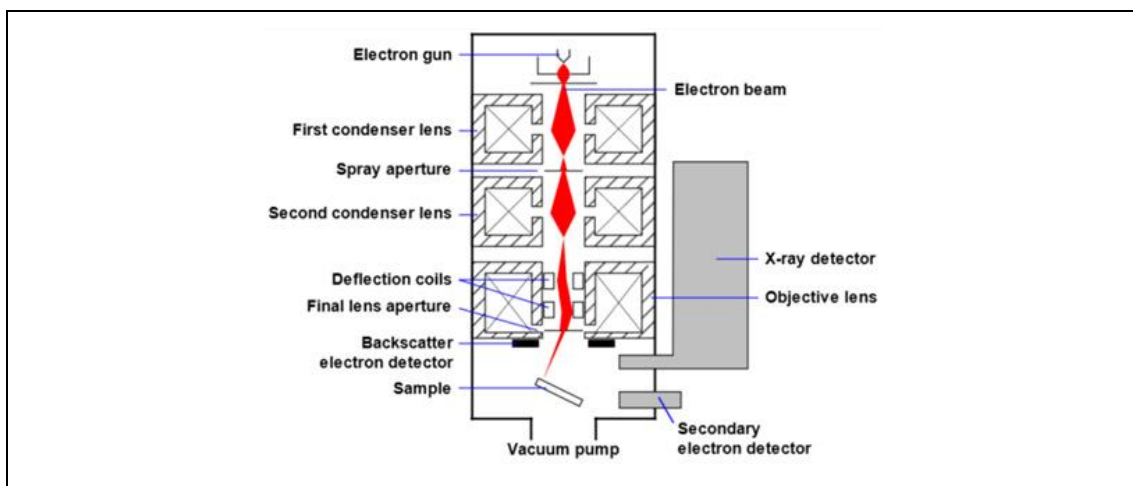


圖1(a) 掃描式電子顯微鏡 SEM 鎗體內部示意圖，[9]

2. 可用的分析及其原理:

- (1)二次電子: 當鎢絲燈通電並射出電子後，電子打到了待測物上的外層電子，原在外殼上的電子彈出到感測器上，藉此可知道物質表面相對的高低，進而知其結構、形狀。
- (2) 背向散射: 背向散射則是電子射出後，並沒有碰到任何電子，而電子繞行裡幾個原子後，因能量比二次電子大的多，會被另一個感測器接收，可用於了解其材料的分布。



圖1(b) 掃描式電子顯微鏡(SEM)機體



圖1(c) 場發式電子顯微鏡(FESEM)機體



圖1(d) 掃描式電子顯微鏡(SEM)控制台



圖1(e) 場發式電子顯微鏡(FESEM)控制台

(二) 拉曼光譜儀測量分子訊號:

拉曼訊號是一種非常微弱的分子振動訊號，因為非常微弱極其容易受到外界的干擾影響，尤其是螢光和磷光的干擾最為嚴重，如果偵測低濃度的待測物之情況下，所收集訊號變得更加困難，這是拉曼訊號必須克服的極限，才能更加廣泛的使用。在 1974 年[10]，由 Fleischmann 等人發現將 Pyridine 吸附於粗糙化的銀電極表面，Pyridine 的拉曼訊號獲得意想不到的增強效果，這是首次發現表面增強拉曼光譜(SERS)效應，Fleischmann 等人對此現象解釋是因銀電極表面的粗糙化，使得表面積增加，而讓更多的 Pyridine 分子吸附於其表面產生的結果，因此開啟了表面增強拉曼散射研究的新頁。隨後許多研究團隊發現，拉曼訊號增強不僅僅是因為粗糙結構表面積增加，還包含因許多貴重金屬(如金、銀)材質的奈米粒子與熱點效應的結構，都會使得拉曼訊號有明顯的增強，其訊號的增強甚至可以達到 $10^{14}$ 倍，其原理是金屬奈米粒子在光照激發下影響表面電漿的振動，當兩個金屬奈米粒子非常靠近時(約 10 奈米以下)，奈米粒子與奈米粒子之間會產生巨大的誘發電場，這種相近耦合的電漿共振模式，我們就稱之為熱點(hot-spots)效應，熱點使得拉曼散射的機會也隨著電場的增強而增加，[11]。1997 年 Shuming Nie 發表於 Science 的文章[12]，更證明了利用熱點模型所增強的拉曼訊號[13]。

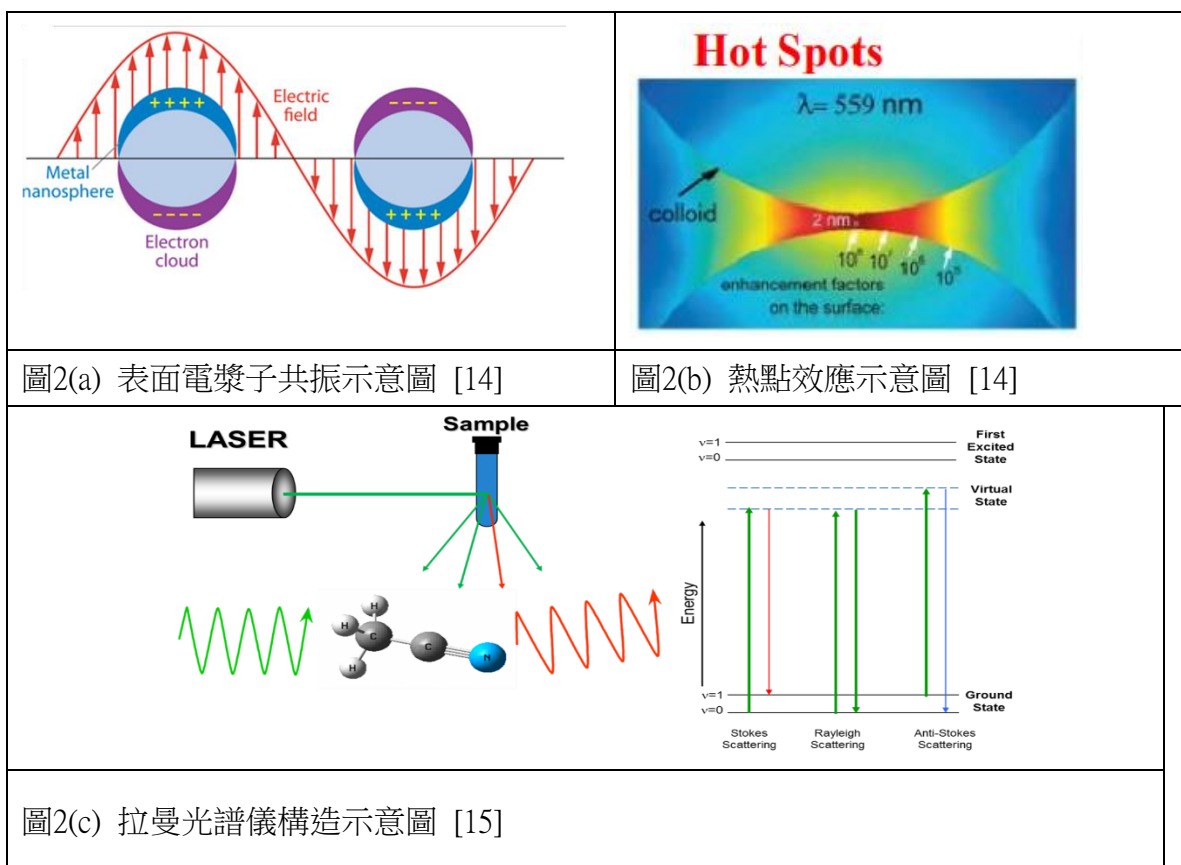






圖2(d) 本研究使用的拉曼光譜儀器

(三) 加熱板



圖3 加熱板，加熱55°C 烘乾試片

#### (四)PDMS 調製轉印結構:

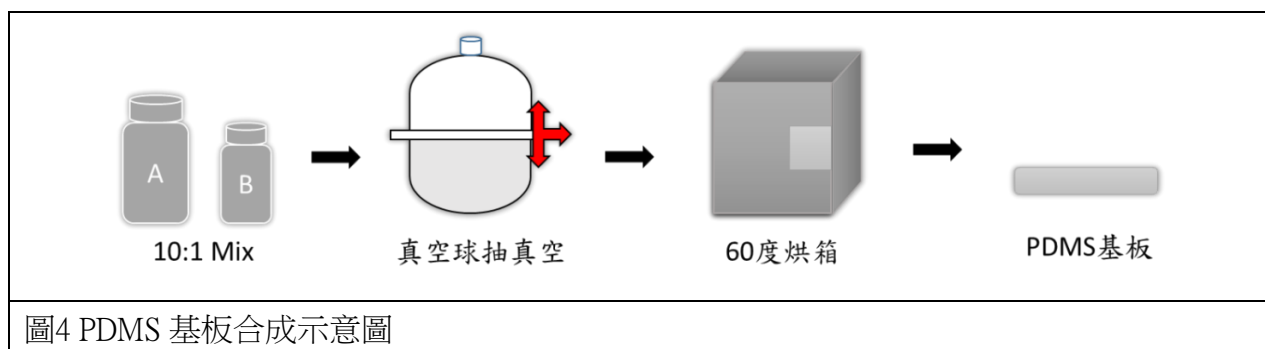
##### 1. PDMS 介紹:

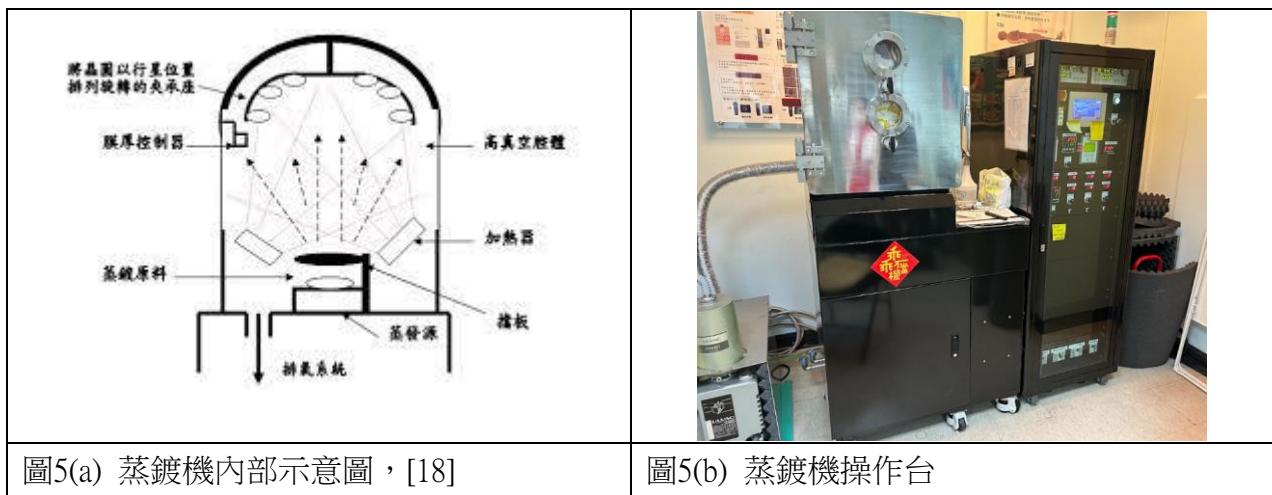
聚二甲基矽氧烷(Polydimethylsiloxane, PDMS)矽水膠是一種高分子有機矽化合物，具有光學透明，且在一般情況下，被認為是惰性，無毒，不易燃。PDMS 是一個使用最廣泛以矽為基礎的有機聚合物材料，固態的 PDMS 為一種矽膠，無毒並且疏水，是一種惰性物質，為非易燃性、透明彈性體[16]。二甲基矽氧烷的製程簡便且快速，材料成本遠低於矽晶圓，且其透光性良好、生物相容性佳、易與多種材質室溫接合、以及因為低楊氏模量（Young's modulus）導致的結構高彈性（structural flexibility）等。2017年印度理工學院 Satinder K. Sharma 團隊於 Sensor and Actuators B 發表了利用芋頭葉轉印製備紋理化奈米/微結構 polydimethylsiloxane (PDMS)基板，並於基板表面塗佈銀金屬製備仿生 SERS 基板，其基板表面具有高附著性與疏水性，並用於增強分析物的拉曼訊號展現了高度靈敏度與再現性，[17]。

#### (五)熱蒸鍍機蒸鍍貴金屬銀:

原理:

蒸鍍機的原理是將欲鍍物放置於鎊舟(熔點高，導電佳)上，並將其通高壓的電流，因為電流的能量，使的欲鍍物昇華並附著在被鍍物上，達成蒸鍍的效果，為避免被空氣中的氣體影響，蒸鍍時腔體必須完全的真空。除此之外，蒸鍍時的電壓大小也會影響到蒸鍍的均勻程度，若是電壓大會使鍍率變高，可能會鍍的不均勻，而電壓小會使鍍率變低，相對來說可以鍍的比較均勻，但缺點是蒸鍍的時間會比較長，且電壓一定要大於一定的值，才能成功將欲鍍物鍍到被鍍物上。為了避免一開始電壓不穩造成蒸鍍的不均勻，一般在開始蒸鍍前都會先關上大擋板，確認電壓穩定後，再關起大擋板開始蒸鍍，並且使被鍍物旋轉。蒸鍍機操作時也常會有許多的問題，如較不緊實易有空洞、在不平整處覆蓋性較差、每隔一陣子需清理附著在腔體的貴金屬。但蒸鍍機的方便快捷使其運用廣泛，常用於食品包裝(包裝上蒸鍍一層鋁膜)、電子零件、磁帶等。





(一)基板製備

1.取得結構:拆解金龜子翅膀



2.四種基板的初步製作:

(1) 平板狀 PDMS (PDMS-plate)製程:

主劑(A 劑)與硬化劑(B 劑)以10:1的比例調配而成，經過充分的混合均勻後將其抽真空，使 PDMS 內的氣泡浮至表面並破裂，即可傾倒平面容器之中，之後拿去60度的烘箱進行熱固化3小時，使 A 劑與 B 劑充分交聯且固化後，即可完成平板狀 PDMS 基板。

(2) 含有結構的 PDMS(PDMS-BWS)製程:

主劑(A 劑)與硬化劑(B 劑)以 10:1 的比例調配而成，經過充分的混合均勻後將其抽真空，使 PDMS 內的氣泡浮至表面並破裂，即可傾倒於金龜子翅膀上，之後拿去 60 度的烘箱進行熱固化 3 小時，使 A 劑與 B 劑充分交聯且固化後，即可完成有轉印金龜子翅膀結構的 PDMS 基板。

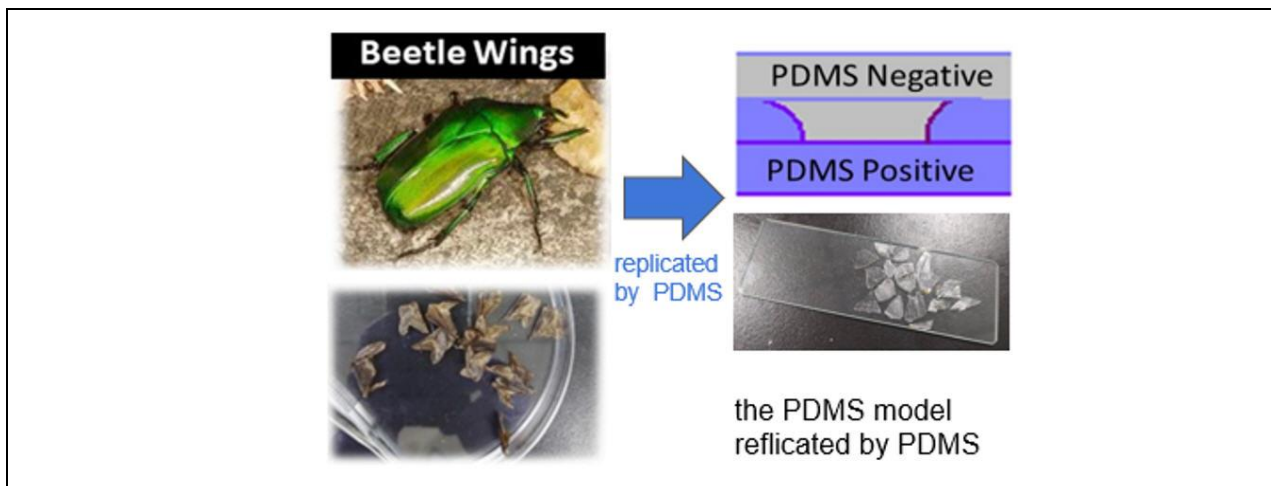


圖7 金龜子翅膀結構轉印示意圖

(3)原金龜子翅膀(BWS)基板製程:

將金龜子原翅用雙面膠貼於載玻片上，並使用超音波震盪進行10分鐘的清潔。

(4)普通載玻片

3.蒸鍍貴金屬銀:

在破真空後先清理機台內部殘留的金屬碎屑，之後將製作好的 PDMS 基板用耐熱膠帶固定在載台上，避免在蒸鍍過程中因為膠帶融化而使 PDMS 基板脫離載台，抽完真空後要調整電流使機台先達成蒸鍍溫度，在這個過程中必需放下大擋板避免被鍍物在預熱過程中被鍍到金屬，當達到預定溫度和氣壓時就可以打開大擋板開始蒸鍍，我們通常把鍍率控制在0.3~0.6 之間，避免蒸鍍的不均勻，在達成指定厚度時需手動放下大擋板避免鍍到殘留的金屬。

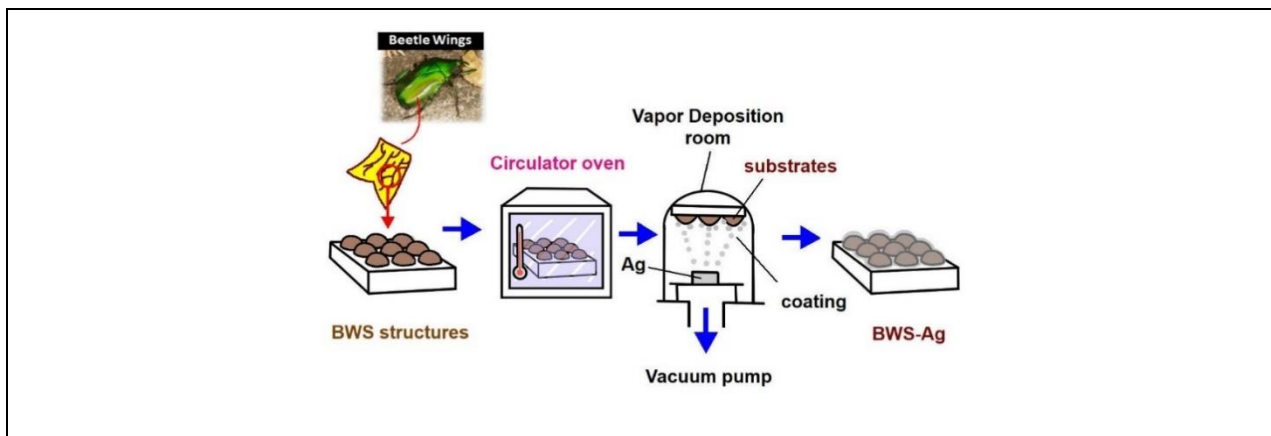


圖8 從拆解轉印到蒸鍍的示意圖，以金龜子原翅(BWS)為例。

## (二)滴檢測物

### 1.調製藥品:

將 R6G、及其他檢測物的濃度調製成  $10^4$ 、 $10^5$ 、 $10^6$ 、 $10^7$ M，調製完成放入冰箱保存。

### 2. 滴檢測物:

將要測的藥品滴在我們製成的四種基板上，之後將其用 55 度烤乾。

3. 試片保存期限時間測試，長時間是否依然可以檢測分子。

4. 環境水測試 (淡水河，筏子溪)，是否依然可以檢測分子。



圖9 滴上檢測物的樣品試片示意圖

## (三)拉曼光譜檢測:

拉曼光譜儀的功用主要是檢測物質，其原理是將固定波長的光束照射在樣品上，樣品分子與光子碰撞後，藉由檢測光子能量及頻率的改變，此變化稱拉曼位移(Raman Shift)。以拉曼位移製成圖表，整理數據後藉由觀察訊號較高的地方，可以知道物質分子鍵結及其結構，進而推測出物質的組成，達到檢測的效果。因為拉曼光譜在極化率較差的鍵結強度相對較弱，拉曼光譜儀通常較適合檢測水分較多的蛋白質生物，或是水溶劑的樣品，如檢測水污染、檢測病毒等。也因為拉曼光譜訊號較不明顯，現今也常使用表面奈米結構或貴金屬蒸鍍來增強其訊號。



圖10 瞄準要用拉曼光譜測的基板



圖11 滴上檢測物之後烘乾

#### (四)場發式電子顯微鏡(FESEM)表面分析:

由於場發式電子顯微鏡(FESEM)的成像原理是電子訊號源產生電子後與樣品表面產生交互作用，再由偵測器接收不同類型電子（像是背向散射電子或二次電子）進行成像。具導電性樣品可導出交互作用於樣品表面的電子，若是不導電或是導電性差的樣品，電子則會累積於樣品表面產生「電荷效應」，會無法看清楚 SEM 的成像[19]。所以在觀察不易導電的樣品時，通常會在表面濺鍍一層薄薄的導電性材料，而本實驗在觀察未被蒸鍍金屬銀的基板時會先使用鍍白金機鍍上一層白金，最後就是抽真空後開始對焦觀察。

## 參、研究結果與討論

### 一、研究結果:

#### (一) 場發式電子顯微鏡(FESEM) :

##### 1. 金龜子原翅(BWS)的表面形貌:

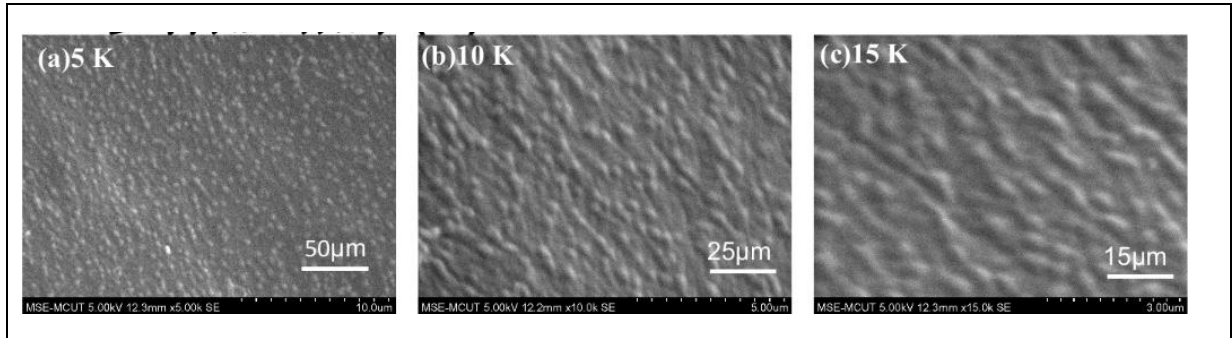


圖 12 不同倍率下金龜子原翅(BWS)的表面形貌，為陽模。

在這邊我們可以看到金龜子原翅的表面有明顯的突起，而其結構是屬於微米級的結構。

##### 2. 蟬原翅(CW)的表面形貌:

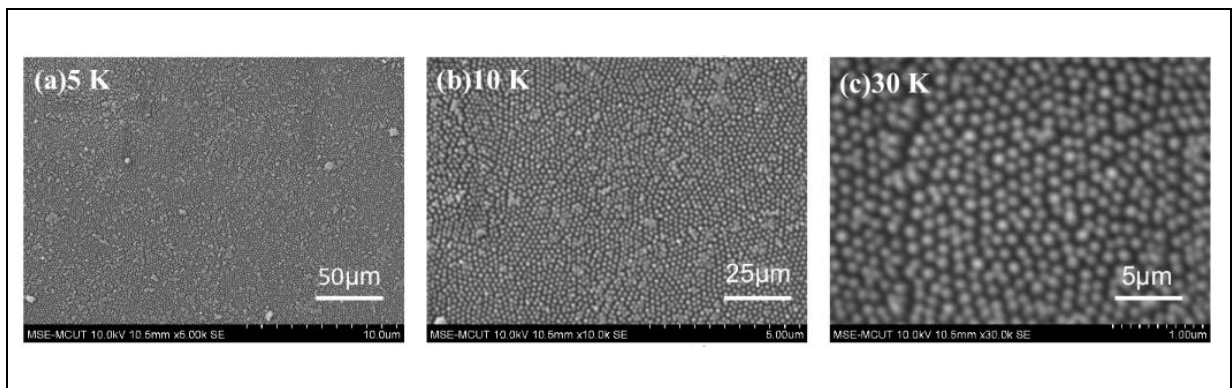


圖 13 不同倍率下蟬原翅(CW)的表面形貌，為陽模。

3. 蝴蝶原翅(BW)的表面形貌(去鱗粉):

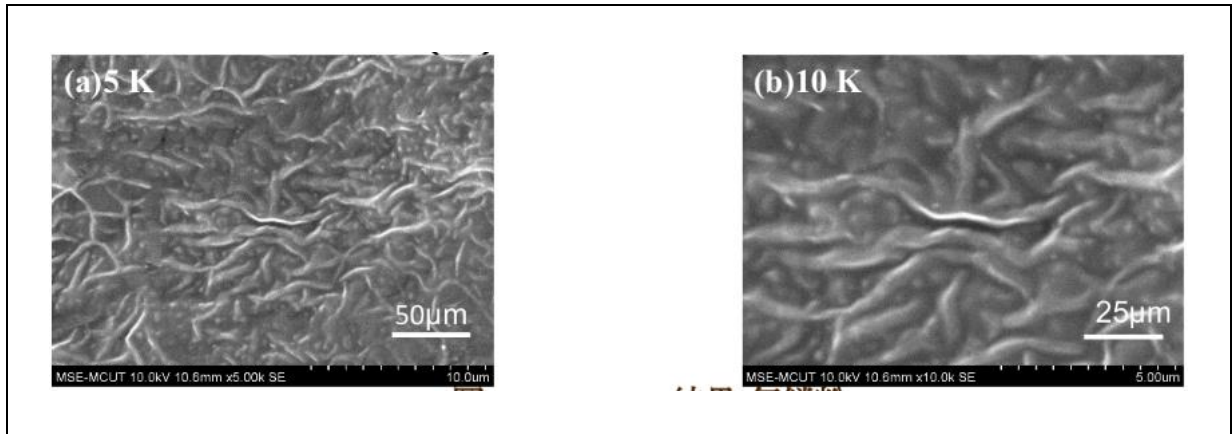


圖 14 不同倍率下蝴蝶原翅(BW)的表面形貌(去鱗粉)，為陽模。

3. 蝴蝶原翅(BW)的表面形貌(有鱗粉):

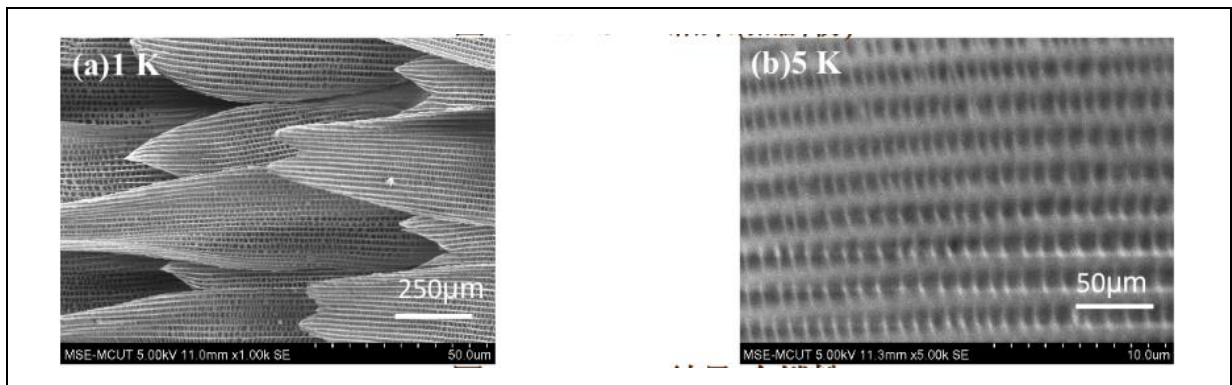
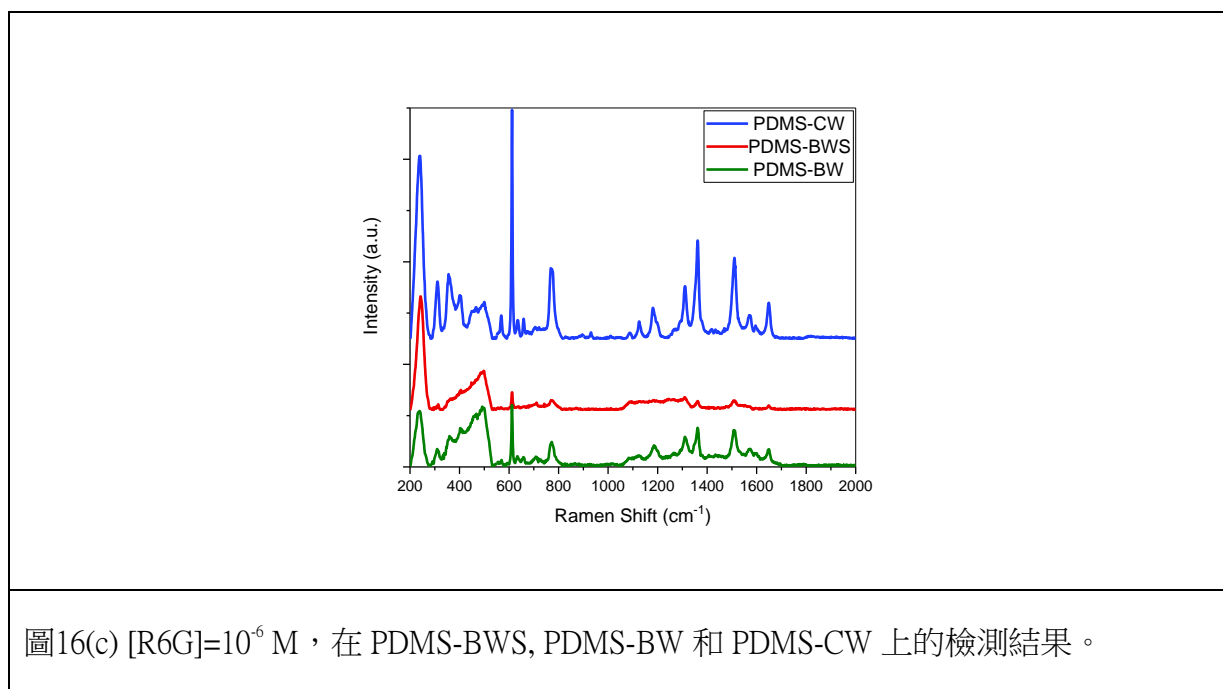
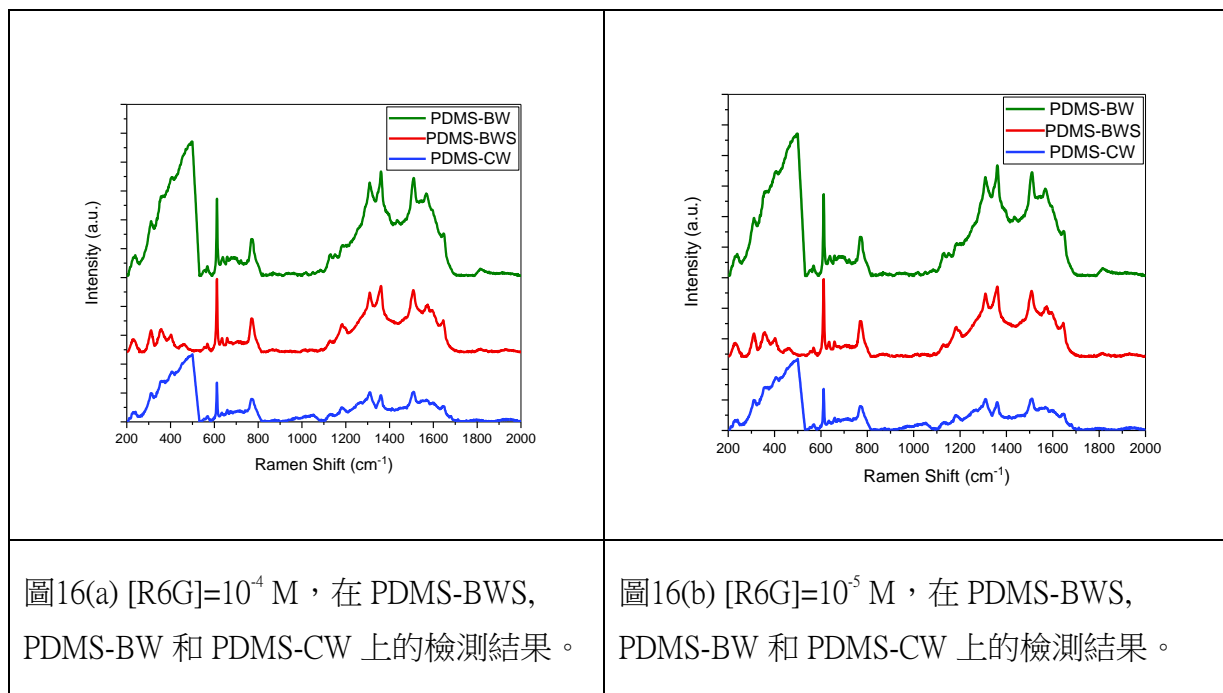


圖 15 不同倍率下蝴蝶原翅(BW)的表面形貌(有鱗粉)，為陽模。

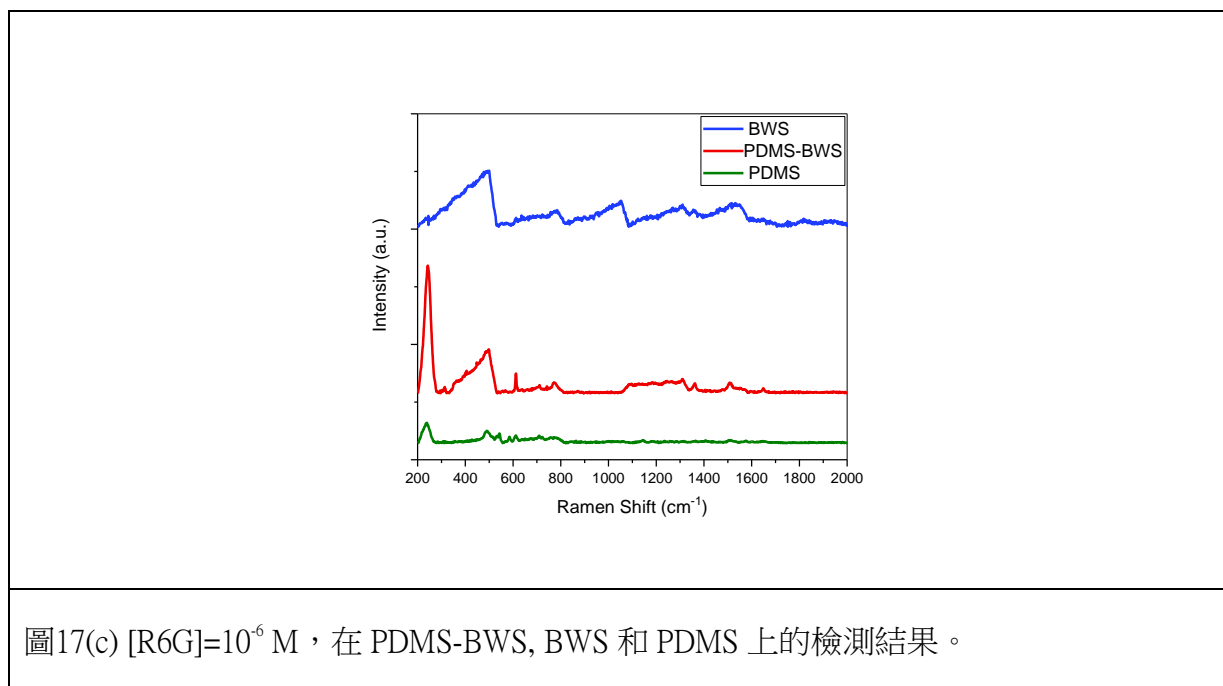
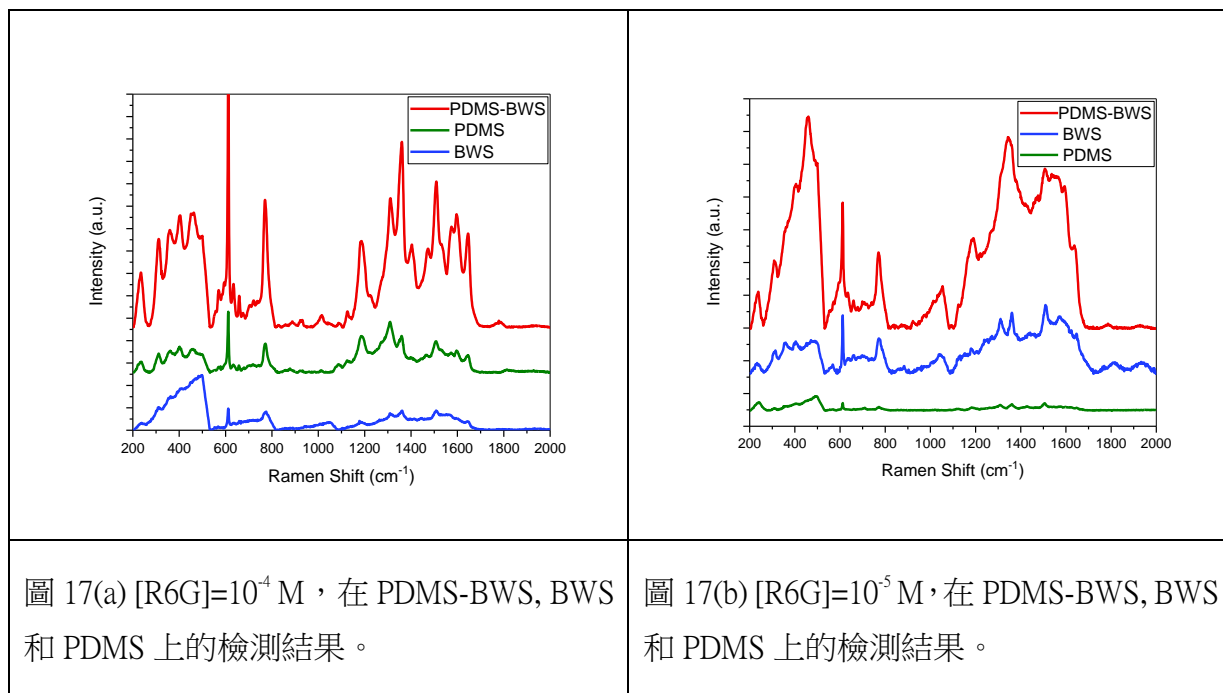


#### (四)拉曼光譜檢測結果

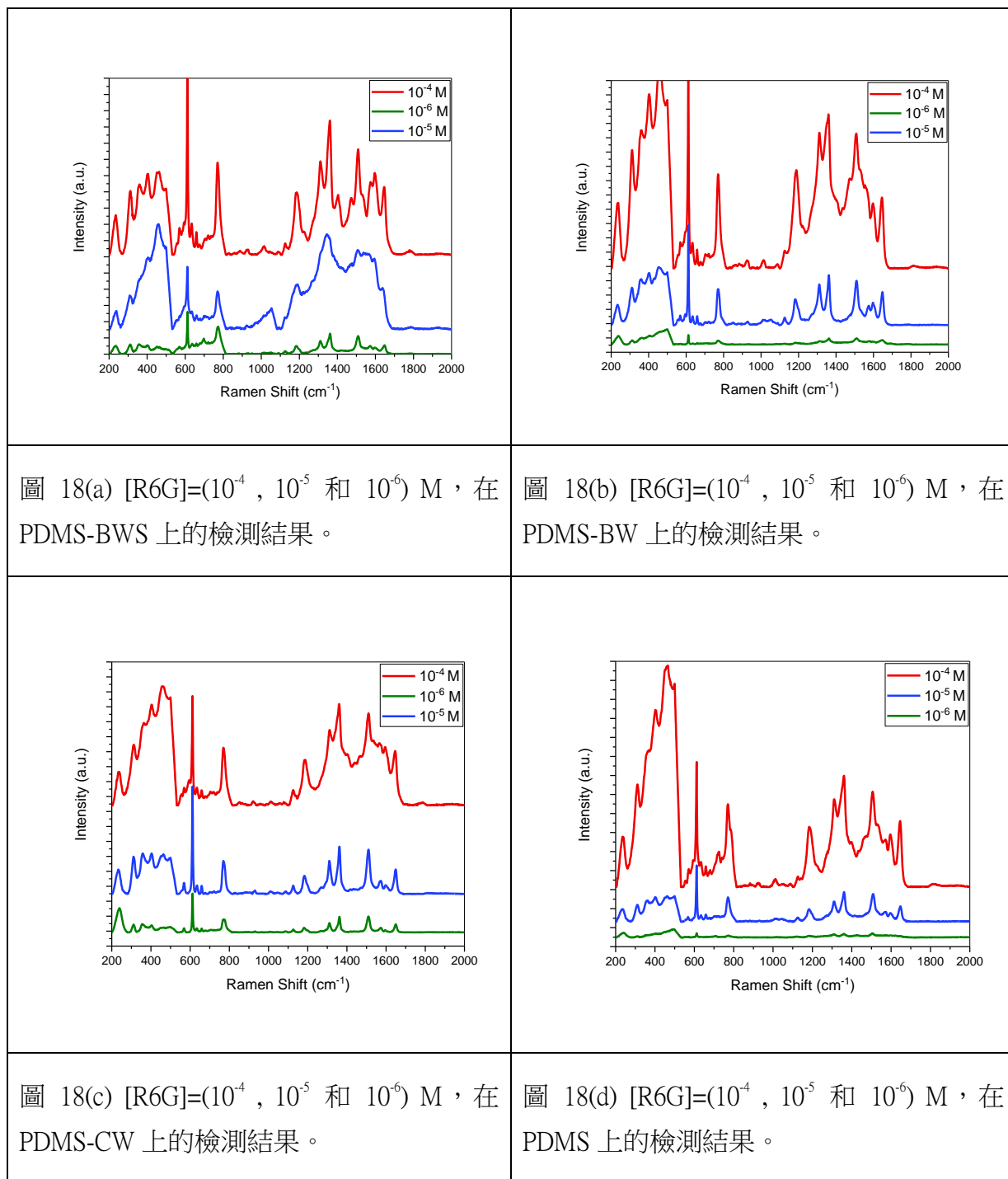
##### 1. 比較不同昆蟲轉印基板之結果



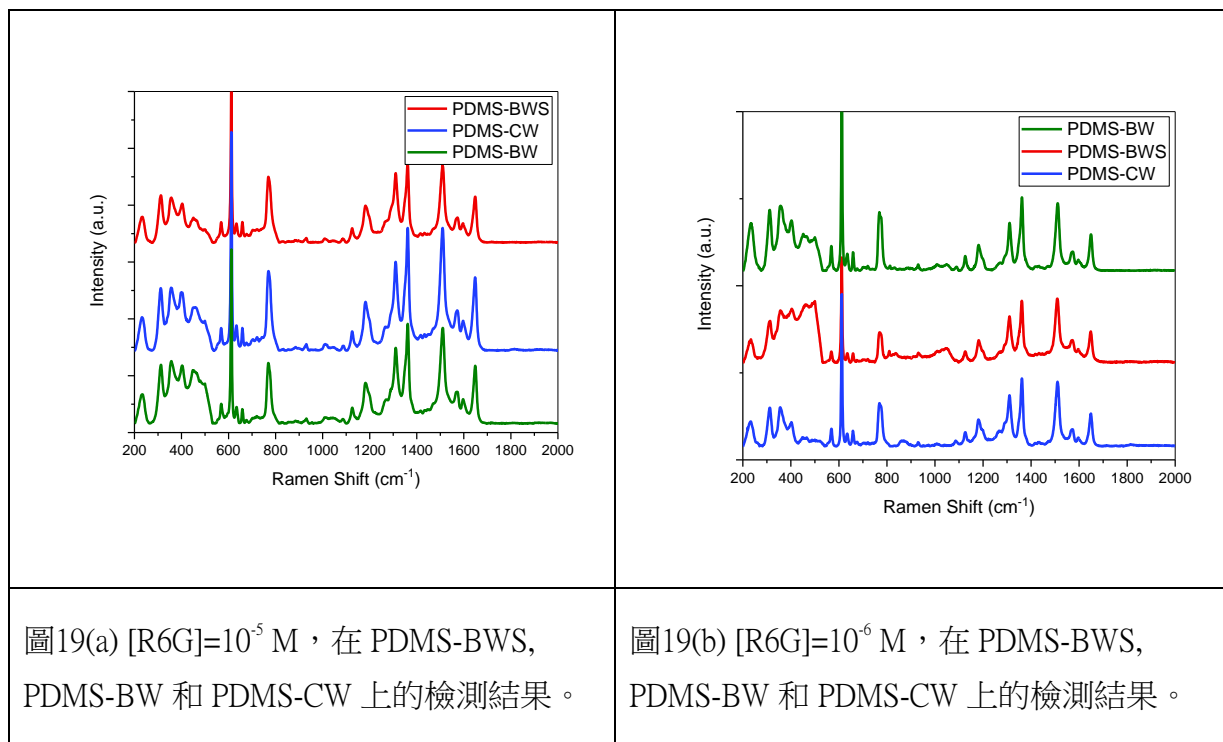
## 2. 比較 PDMS-BWS, BWS 和 PDMS 的訊號差異



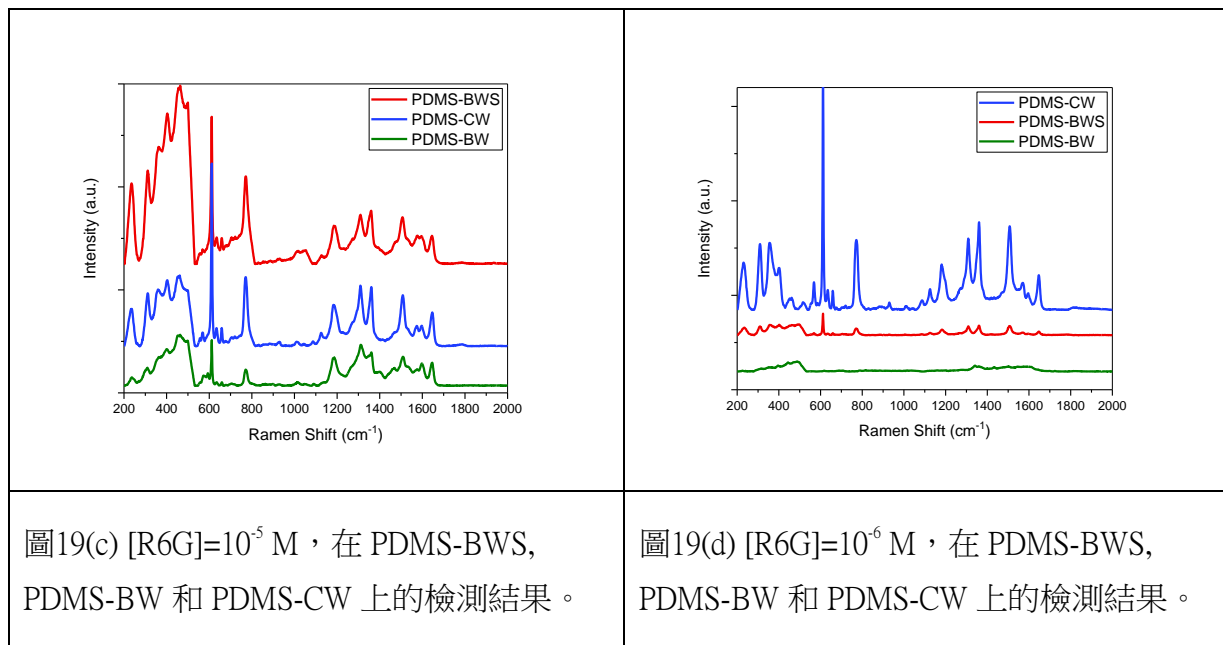
### 3. 比較不同濃度( $10^{-4}$ , $10^{-5}$ 和 $10^{-6}$ M)在不同基板上的檢測結果



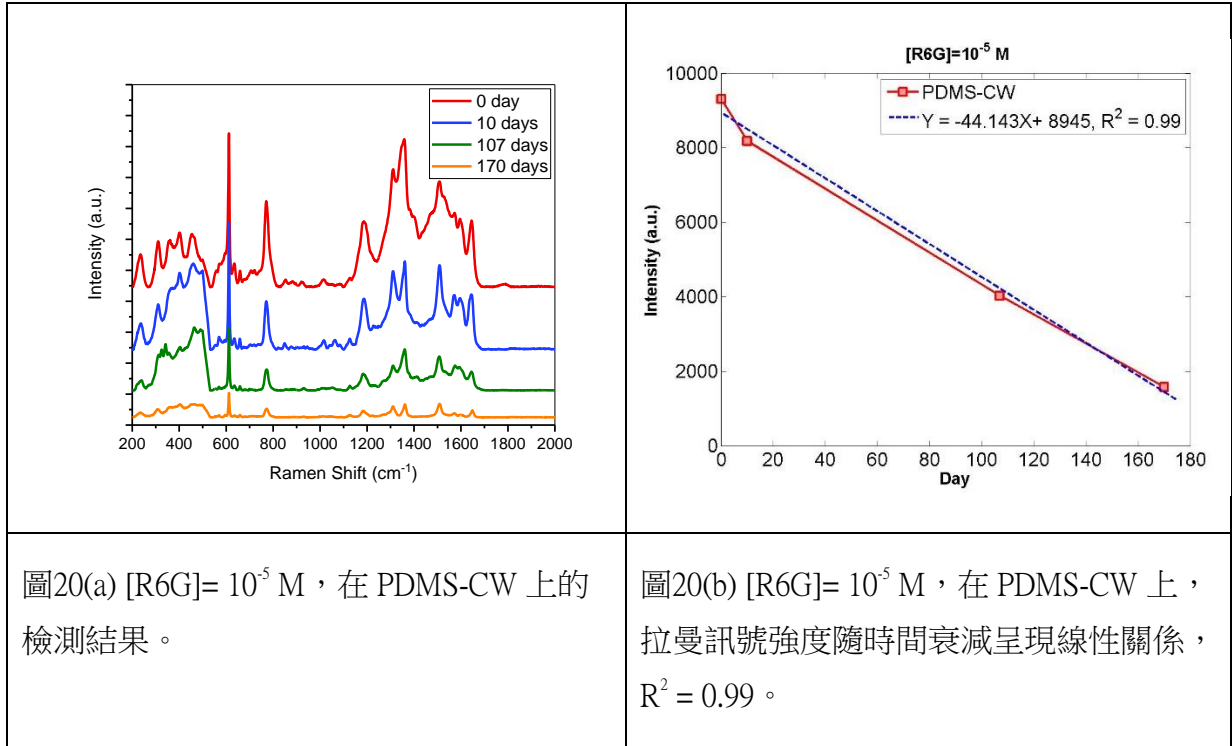
#### 4. 加入淡水河水進行環境水檢測之結果



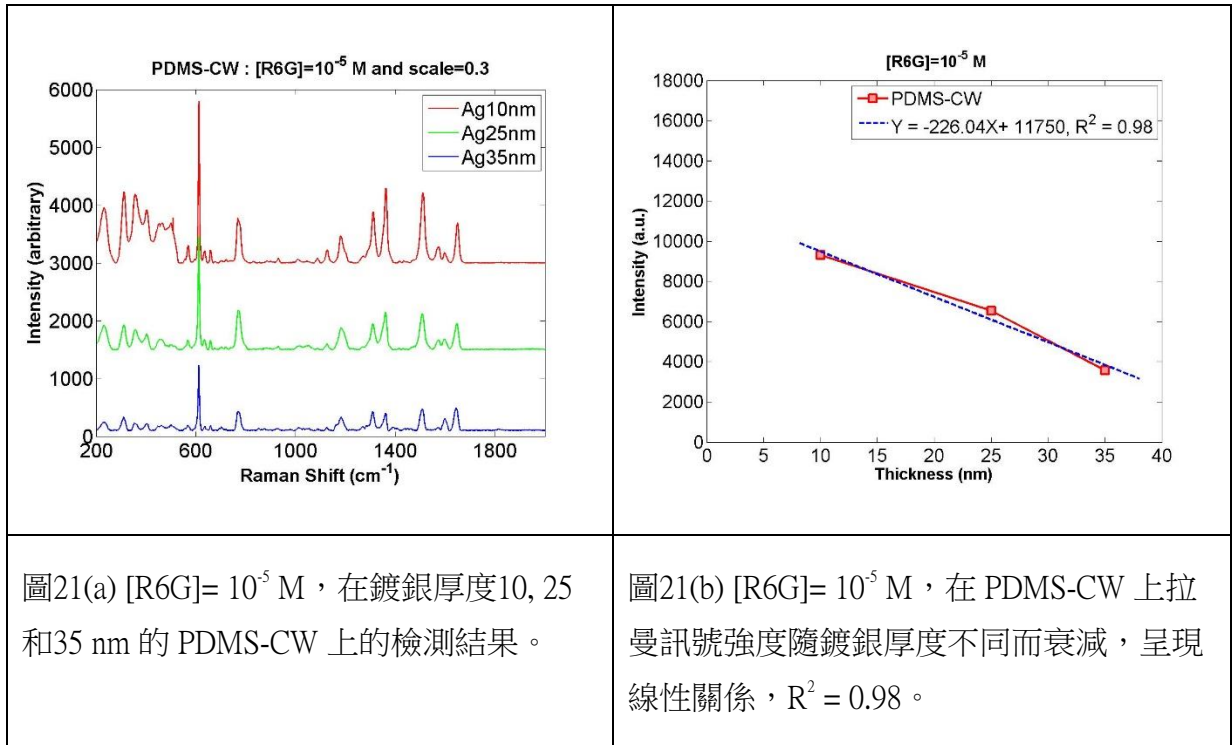
#### 5. 加入筏子溪水進行環境水檢測之結果



6. 樣品在真空環境下放置不同天數之測試結果



7. 比較不同鍍銀厚度之檢測結果



## 8. 比較不同濃度檢測之線性關係

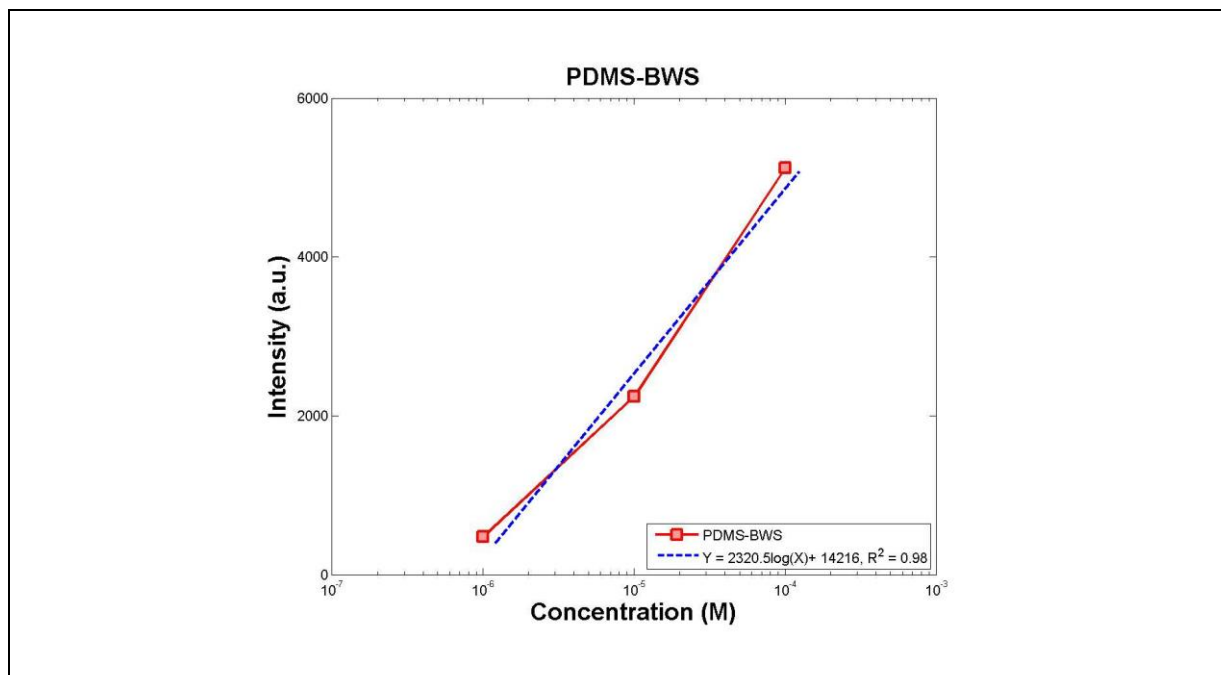


圖22 在 PDMS-BWS 上拉曼訊號強度隨濃度對數(Log(C))不同而衰減呈現線性關係， $R^2 = 0.98$ 。

## 9. 混合兩種分子同時檢測之結果

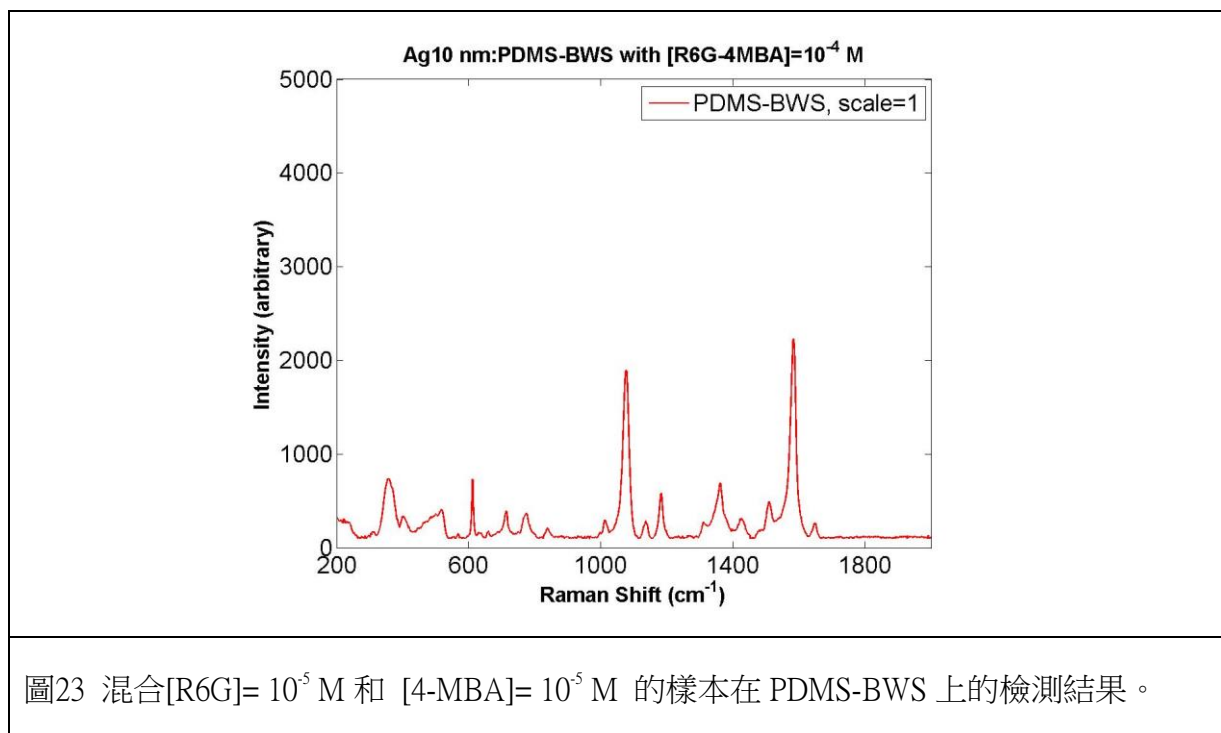


圖23 混合[R6G]=  $10^{-5}$  M 和 [4-MBA]=  $10^{-5}$  M 的樣本在 PDMS-BWS 上的檢測結果。

### (五)設計 AI 協助進行拉曼訊號分析

AI，讓電腦能自動幫我們分析數據，辨別不同分子的訊號，於是我們設計了一維的 CNN 模型(卷積神經網路，Convolutional Neural Network)並且加入 OpenVINO 進行優化，以利邊緣裝置監測量分析與計算，希望以後能運用無人機採集河水之後能自動進行簡單處理後，自動分析拉曼數據，如圖24所示。

#### 1. 希望實現的 AI 檢測河川水流污染分子

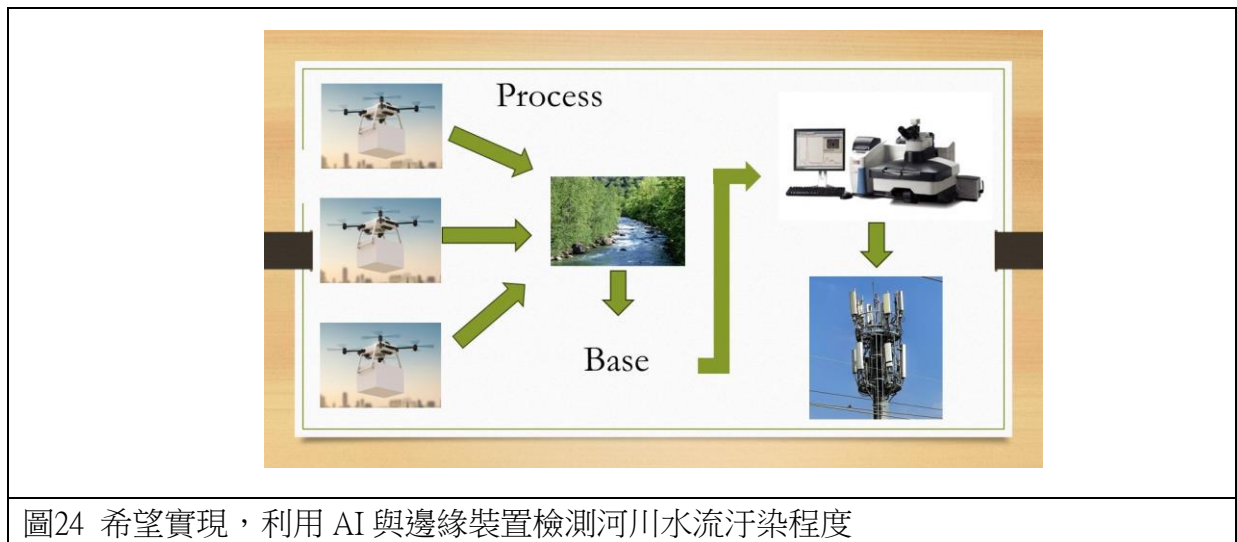


圖24 希望實現，利用 AI 與邊緣裝置檢測河川水流污染程度

#### 2. 資料預處理

Filter data length != 6406 (本實驗拉曼數據長度 6406)

Min-max normalization

Data augmentation with noise

#### 3. 我們所設計的 AI 6層深成網路模型

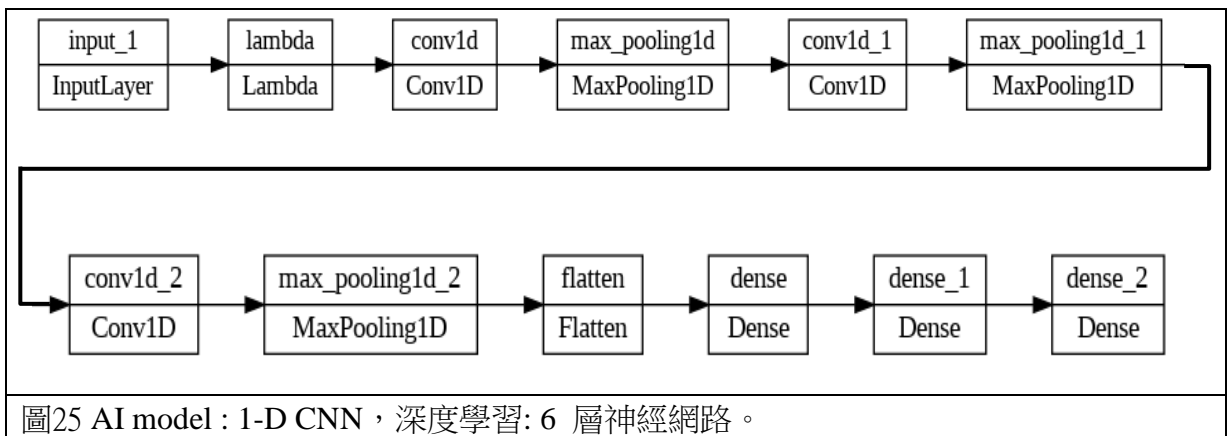


圖25 AI model : 1-D CNN，深度學習: 6 層神經網路。

#### 4. Training process

Adam, LR=0.0003 ; Loss function: MSE  
20% for validation ; 5 epochs

#### 5. 測試結果

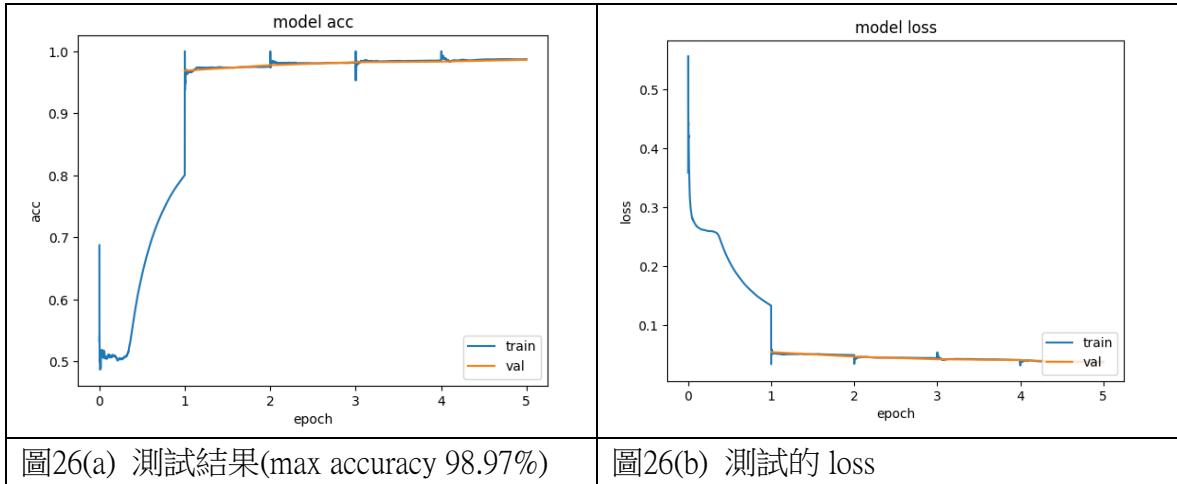


圖26(a) 測試結果(max accuracy 98.97%)

圖26(b) 測試的 loss

max accuracy 98.97%

#### 6. 使用 OPENVINO 來進行優化



圖27 使用 OpenVINO : Convert model & Test platform(Intel OneAPI DevCloud ; Intel(R) Xeon(R) Gold 6128 CPU@ 3.40GHz)



## 7. 優化成果

48000比數據使用 OpenVINO:優化後只用32.9 sec，比原本 Tensorflow 的 267.1 sec 約加快了8倍，而正確率 OpenVINO 優化後是 98.88%，而 Tensorflow 是 98.97% 大約只減少了0.1% 的正確率。

```
: tf_model.evaluate(x, y)
1500/1500 [=====] -
341 - acc: 0.9897
: [0.03406844288110733, 0.9897291660308838]

: ans = []
: for xv in tmpx:
:     ans.append(vino_model([xv])[0][0][0])
: ans = np.array(ans)

: np.sum((ans > 0.5).astype(np.int32) == y) / l

: 0.9888125
```

圖28 優化成果分析示意圖

## 二、討論

在發現我們的基板能測量到分子訊號的情況下，我們遭遇了許多挑戰，例如保存期限或是環境水雜訊問題，為了解決這些問題我們採集了三條河川水，分別有淡水河、綠川和筏子溪，透過使用過濾後的河川水調配不同濃度的 R6G 進行檢測，我們發現加入淡水河和筏子溪水後的訊號 LOD 大約是為在[R6G]= $10^{-6}$  M，依舊可以測到很明顯的訊號，並不會受到其他的干擾，在保存期限的部分我們分別採用放置了 10 天、107 天、170 天的基板進行測試，可以看到隨著放置時間延長，訊號強度也跟著減弱，但依舊能看到 R6G 分子的特徵峰，在 170 天的部分我們用僅剩的 CW 基板進行測試，沒想到居然也能測到微弱的訊號，這也代表了我們的這項實驗極具發展性，再加上低成本的優勢，非常有機會被運用到水汙染或是其他的檢測上。

## 肆、結論與應用

### 一、結論

(一)根據拉曼光譜分析顯示結果:

- 1.不同昆蟲測試比較:(PDMS-BW)>(PDMS-BWS)>(PDMS-CW)。
- 2.比較 PDMS-BWS, BWS 和 PDMS 的訊號差異:(PDMS-BWS)>(BWS)>(PDMS)。
- 3.比較不同濃度( $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$  和  $10^{-6}$  M)在不同基板上的檢測結果，無論是在哪種基板，強度依序為:( $10^{-4}$  M)>(  $10^{-5}$  M)>(  $10^{-6}$  M)。
- 4.加入淡水河水進行環境水檢測之結果: (PDMS-BW)約等於(PDMS-BWS)，也約等於 (PDMS-CW)。
- 5.加入筏子溪水進行環境水檢測之結果，在[R6G]= $10^{-5}$  M 時: (PDMS-BW)~(PDMS-BWS)~(PDMS-CW)，在 [R6G]= $10^{-6}$  M 時: (PDMS-BW)>(PDMS-BWS)~(PDMS-CW)
- 6.在真空環境下放置不同天數之測試結果: I(0 天)> I(10 天)> I(107 天)> I(170 天)，(I 強度)
- 7.比較不同鍍銀厚度之檢測結果: I(10 nm)> I(25 nm)> I(35 nm)，PDMS-CW 量測呈線性關係。

(二)根據 SEM 以及 FESEM 的結果顯示，我們轉印的基板在原翅上有突起表示其結構(陽模)，表示我們轉印的 PDMS 基板為陰模。

### 二、應用

由於我們所製作的基板(10 nm 鍍銀)能有效增強拉曼訊號，所以可以將其運用在水污染、食品安全或是其他可溶於水的分子檢測之中，我們目前基板的製作流程的耗材成本分析如下。

表格 1: 耗材成本:

項目	價位	每次使用	每次成本
PDMS	6000元/升	20克	約120元
銀錠	1000元/71克	約1克	約14元
金龜子	30元/隻	X	30x 幾隻
蟬	10元/隻	X	30x 幾隻
蝴蝶	15元/隻	X	30x 幾隻

PDMS-BWS: (120+14+30)/10 約等於 16 元/塊

PDMS-CW: (120+14+10)/20 約等於 7 元/塊

PDMS-BW: (120+14+15)/35 約等於 4 元/塊

每一塊基板約為 4~16 元加上電費，比較全國法規資料庫之中陰離子界面活性劑檢測費用為 2000 元/次的收費標準，我的檢測方式更為簡易且製作簡單成本低廉，極具經濟價值。

未來我們希望通過一次次的試驗找出此基板最適合的檢測分子、蒸鍍厚度，並進一步簡化我們的製作流程，找出最符合經濟效益的基板條件。

## 伍、參考資料及其他

- [1] 行政員全球資訊網 巴比妥等管制藥品之實地稽查結果, 112-07-03  
<https://www.ey.gov.tw/Page/9277F759E41CCD91/407ebdca-f898-4349-b8f7-e678acb3b561>
- [2] 臺北市衛生局公布112年1月生鮮蔬果殘留農藥抽驗結果  
[https://health.gov.taipei/News\\_Content.aspx?n=BB5A41BA1E6CA260&sms=72544237BBE4C5F6&s=BAE8DF2FAD5B5F34](https://health.gov.taipei/News_Content.aspx?n=BB5A41BA1E6CA260&sms=72544237BBE4C5F6&s=BAE8DF2FAD5B5F34)
- [3] Kim, H. T., Jeong, O. C. (2011). PDMS surface modification using atmospheric pressure plasma. *Microelectronic Engineering*, 88(8), 2281-2285.
- [4] Singh, R. (2002). C. V. Raman and the Discovery of the Raman Effect. *Physics in Perspective*. 4(4), 399-420.
- [5] Lewis, L. N. (1993). Chemical catalysis by colloids and clusters. *Chemical Reviews*, 93(8), 2693-2730.
- [6] 圖片網址:<https://tw.1688.com/pic/-BDF0C1A3CDBCC6AC.html>
- [7] Rhodamine 6G: <https://dir.indiamart.com/ahmedabad/industrial-dyes.html?biz=10>
- [8] 4-mercaptobenzoic acid (4-MBA): <https://www.sigmaaldrich.com/TW/en/product/aldrich/706329>
- [9] SEM構造示意圖  
[https://www.researchgate.net/figure/Schematic-diagram-of-Scanning-Electron-Microscope\\_fig2\\_317059429](https://www.researchgate.net/figure/Schematic-diagram-of-Scanning-Electron-Microscope_fig2_317059429)
- [10] Fleischmann, M., Hendra, P. J., and McQuillan, A. J. (1974). Raman spectra of pyridine adsorbed at a silver electrode. *Chemical Physics Letters*, 26, 163-166.
- [11] Cheng, Y.-W., Hsiao, C.-W., Lin, C.-H., Huang, L.-Y., Chen, J.-S., Yang, M.-C., Liu, T.-Y. (2022). Bionic 3D periodic nanostructures by Ag nano-islands deposited on cicada wings for rapid SERS detection. *Surface and Coatings Technology*, 436, 128323.
- [12] Kneipp, K., Y. Wang, H. Kneipp, L. T. Perelman, I. Itzkan, R. R. Dasari and M. S. Feld (1997). Single Molecule Detection Using Surface-Enhanced Raman Scattering (SERS). *Physical Review Letters*, 78(9), 1667-1670.
- [13] Xu, H., E. J. Bjerneld, M. Käll and L. Börjesson (1999). Spectroscopy of Single Hemoglobin Molecules by Surface Enhanced Raman Scattering. *Physical Review Letters*, 83(21), 4357-4360.
- [14] 表面電漿子共振示意圖  
<http://www.irla.cn/cn/article/doi/10.3788/IRLA20211014>
- [15] 拉曼光譜分析儀

[https://www.righstek.com.tw/product\\_detail.php?id=186](https://www.righstek.com.tw/product_detail.php?id=186)

- [16] Wolf, M. P., Salieb-Beugelaar, G. B., and Hunziker, P. (2018). PDMS with designer functionalities – properties, modifications strategies, and applications. *Progress in Polymer Science*, 83, 97-184.
- [17] Kumar, P., Khosla, R., Soni, M., Deva, D., and Sharma, S. K. (2017). A highly sensitive, flexible SERS sensor for malachite green detection based on Ag decorated microstructures PDMS substrate fabricated from Taro leaf as template. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 246, 477-486.
- [18] 蒸鍍機內部結構示意圖  
[https://www.researchgate.net/figure/Schematic-diagram-of-Scanning-Electron-Microscope\\_fig2\\_317059429](https://www.researchgate.net/figure/Schematic-diagram-of-Scanning-Electron-Microscope_fig2_317059429)
- [19] 濺鍍機介紹  
<https://www.kctech.com.tw/applications-how-to-choose-a-sputtering-machine/>

## 【評語】 200012

本研究以拉曼光譜配合表面增強拉曼光譜解決訊號微弱的缺點，來找出成本和時間需求最低的檢測方法來進行檢測。選用金龜子、蟬和蝴蝶三種昆蟲的翅膀鍍上奈米厚度的銀(10 nm)來試驗，以符合 SERS 要求的粗糙結構和貴金屬表面，利用熱點效應和表面電漿子共振來增強拉曼光譜的訊號，在實驗中我們也對基板進行了各項檢測，也對比了各種參數，包括放置時間、鍍銀厚度、藥品濃度等，也加入了環境水檢測，我們也對比了諸多數據，並且找出所期望的成本最低效率最高的基板參數，未來也有望運用在河水汙染檢測或是農藥殘留量檢測，甚至能運用在藥品或是生物樣本檢測，可以說是具有相當發展的潛力。

本作品以昆蟲翅膀結構作為仿生結構模板，利用具二甲基矽氧烷(PDMS)和光阻劑轉印形成 3D 結構，再將銀鍍於其上，測試檢測羅丹明 6G 與 4-MBA 之應用性。建議可加強對污染物檢測之定量分析結果之實驗，注意品保/品管(QA/QC)，以展現其應用價值。針對金龜子翅膀於 60°C 烘箱熱固化 3 小時對其表面結構及化學組成是否造成改變應加以釐清。

建議可以將強說明研究動機並針對較貼近實際環境中之因子條件包括實際水樣進行測試研究，並與文獻中結果進行比較，以及利用統計方法分析研究結果。