

# 水俣退散-自製有害無機汞快篩 器應用於放流水之檢測

科 別：環境學科（含衛工、環工、環境管理）

組 別：高級中等學校組

# 水俣退散-自製有害無機汞快篩器應用於放流水之檢測

## 壹、研究動機：

臺灣，是重工業發展十分興盛的區域。因此在這種情況下，為防範工業廢水的危害，我們開發出一個簡易的快篩器，藉由**arduino**和顏色感測器的偵測，分辨奈米金對汞離子不同吸附能力，所造成的不同大小的粒子其相對應的顏色變化，快速且便宜的測出水質中的汞含量，讓水質檢測這件事，不需要只依靠政府，而是能讓每個民眾能自己及能檢測周遭水質安全。

## 貳、研究目的：

(一)自行合成奈米金並接上**硫醇基與羧酸根**，找出最佳碳鏈長度與溶液成分比例，使溶液具有選擇性並抓取水中汞離子。

(二)結合IoT概念(Internet of Things，物連網):開發一個**低成本且體積小**的裝置，快速檢測放流水中的汞含量是否超標。

## 自製汞離子快篩器特點

使用觸控螢幕，  
操作簡易

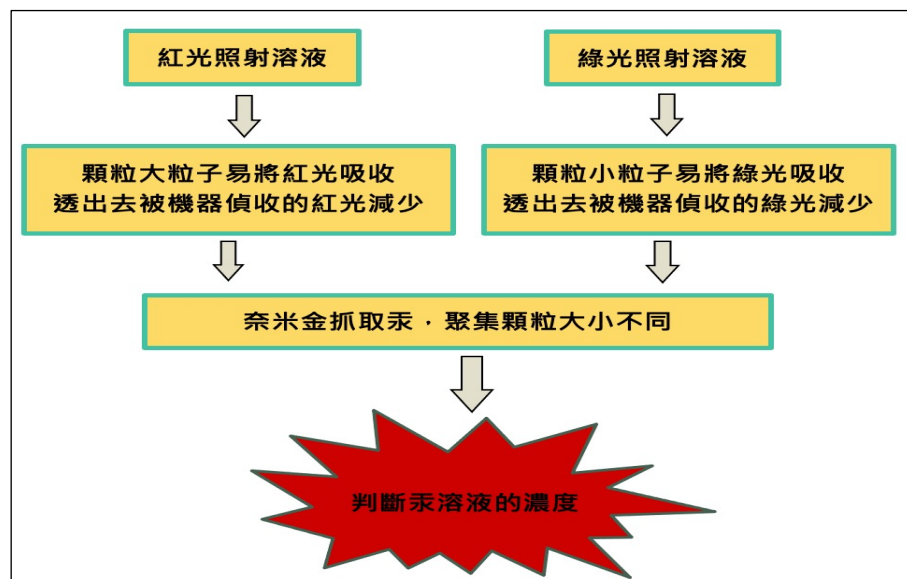
替換硫醇  
測多種金屬離子

機器特色

可用於放流水檢測

價格低廉

快速測量



自製快篩器價目表

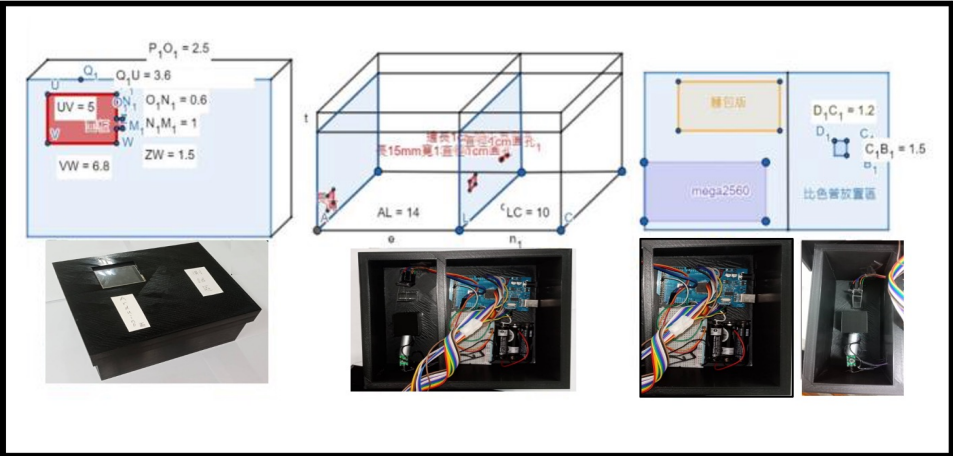
| 設備               | 價錢(元) |
|------------------|-------|
| Arduino MEGA2560 | 250   |
| TFT觸控顯示螢幕        | 370   |
| TCS34725顏色感測器    | 132   |
| 麵包板              | 50    |
| 電阻               | 45    |
| 杜邦線              | 8     |
| 紅、綠雷射            | 500   |
| 總價               | 1355  |

參、研究過程或方法

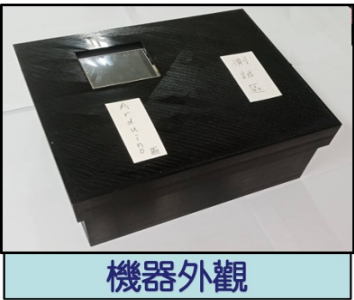
(一)製作重金屬汞快篩器並組裝

Arduino區：  
結合Arduino Mega2560、Color Sensor、觸控顯示螢幕

測試區：  
由前至後，分別擺設 紅和綠雷射燈、比色管、Color Sensor



快篩器設計圖與實際成品圖



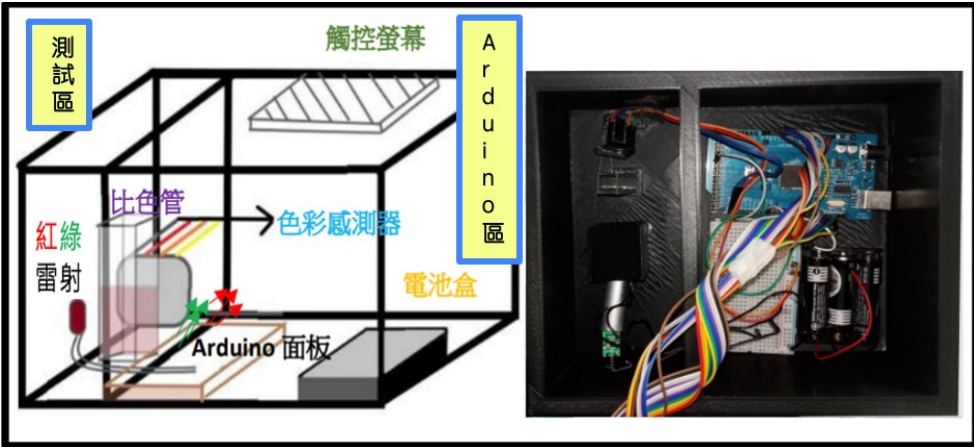
機器外觀



測試區



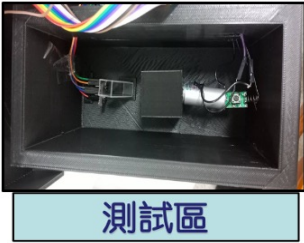
Arduino區



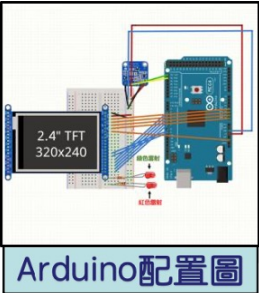
機器透視圖



機器內部



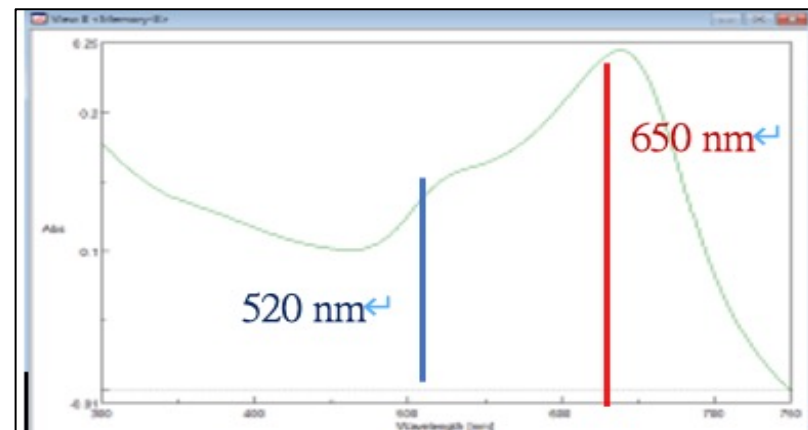
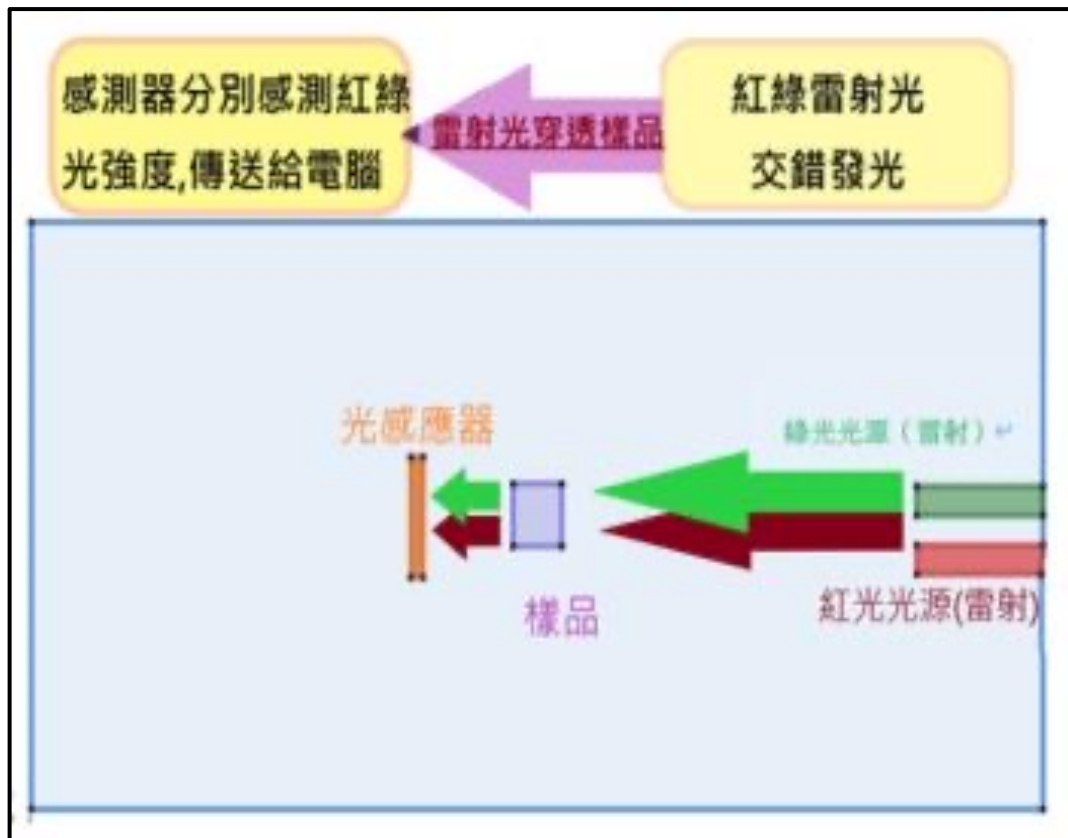
測試區



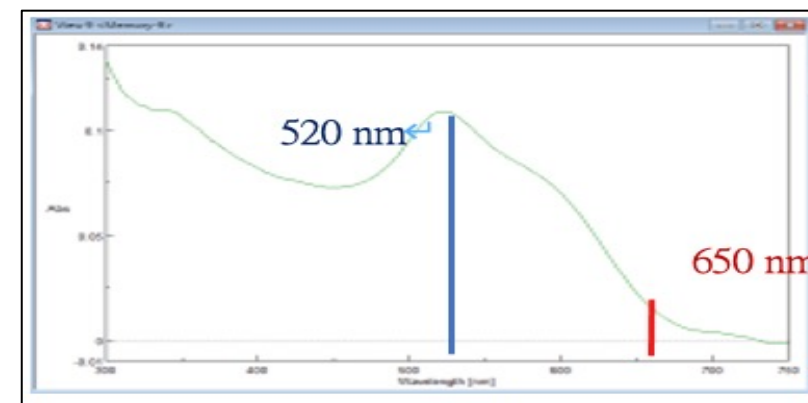
Arduino配置圖

## 奈米金與汞離子結合原理

原理：因為奈米金抓取汞後，聚集的顆粒大小不同，因此在紅、綠雷射燈照射下，顆粒大粒子的易將紅光（650 nm）吸收，而顆粒小的粒子易將綠光（520 nm）吸收，以此變化就可以判斷汞離子溶液的濃度。



光譜圖 (Uv-Vis)。  
聚集顆粒越大，吸收波長紅移。



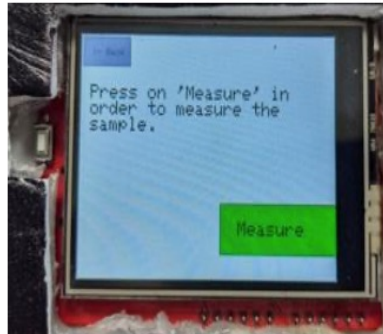
光譜圖 (Uv-Vis)。  
聚集顆粒越小，吸收波長藍移。



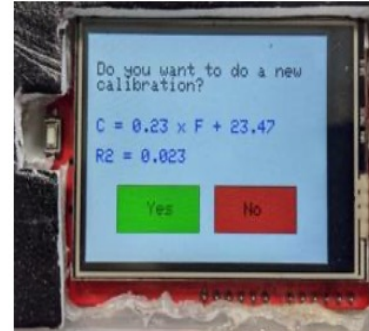
## (二) 螢幕顯示、操作與校正



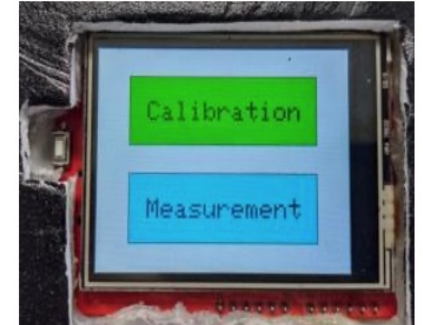
(步驟一) 每次開始時  
便會先詢問是否要校正



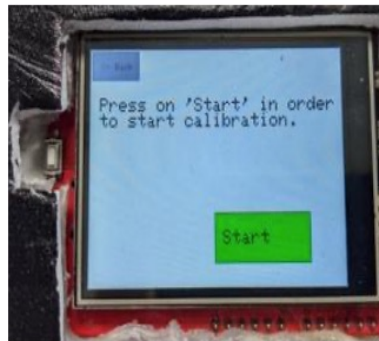
(步驟二) 如果按下Yes  
即會重新測量



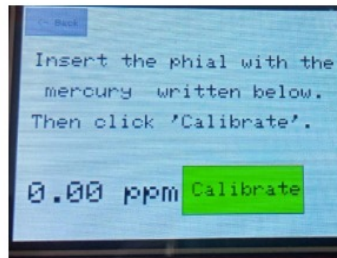
(步驟三) 將測量到的數  
值換成公式



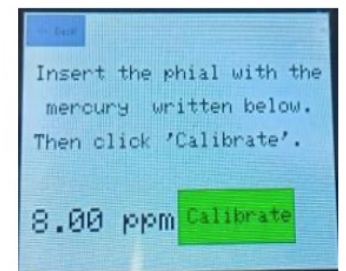
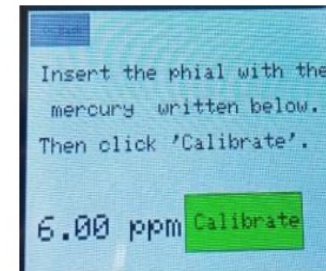
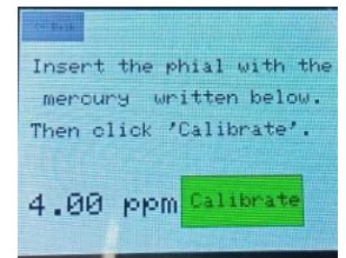
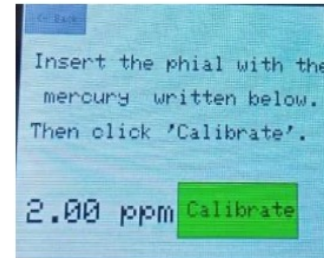
(步驟四) 選擇是否要開  
始進行測量還是重新校正



(步驟五) 如果選擇後M  
easure後即會開始測量



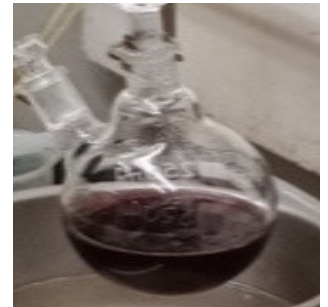
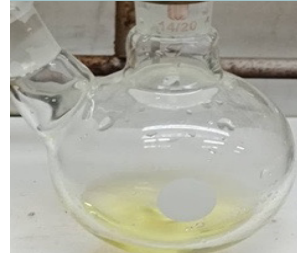
(步驟六) Calibrate (校正)  
時的畫面



### (三)配置MPA-Au Nps

- 1.配置1%的檸檬酸鈉溶液2ml (檸檬酸鈉0.0228g + 2ml去離子水) $10^{-4}$ M MPA水溶液 (10ul 11.5M的MPA + 11ml490ul的去離子水)
- 2.將1998 ml的去離子水及1M且20ul的四氯金酸倒入雙頸瓶中(溶液呈黃色)，一同加熱至沸騰。
- 3.溶液沸騰後快速加入配好的檸檬酸鈉溶液(溶液變成暗紅色)，加熱8分鐘， 再將溶液降至室溫(鮮紅色)。
- 4.將900 ul四氯金酸溶液，加入100ul  $10^{-4}$ M MPA水溶液中。
- 5.冰入4℃的冰箱中，靜置2小時。

自製奈米金



### (四)配置標準溶液

購買汞離子濃度標準品，運用去離子水稀釋，配置出五個濃度 ( 0、2、4、6、8 ppm ) 的無機汞離子溶液

加入2,6-吡啶二甲酸試劑(2,6-pyridinedicarboxylic acid,) 可提高奈米金和汞離子結合的專一度

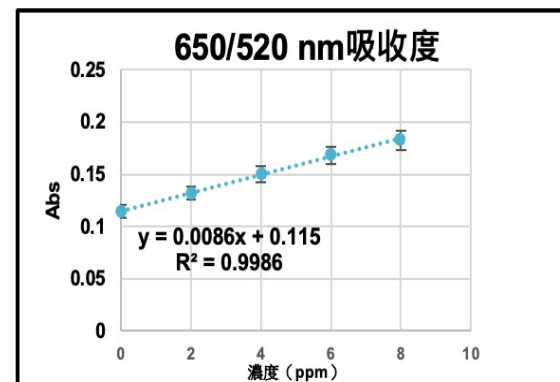
|       | 去離子水(ul) | MPA-AuNps(ul) | $10^{-4}$ M汞溶液(ul) | PDCA( $10^{-3}$ M) (ul) | Tris-buffer(pH 9.0) (ul) |
|-------|----------|---------------|--------------------|-------------------------|--------------------------|
| 0 ppm | 400      | 100           | 0                  | 250                     | 250                      |
| 2 ppm | 300      | 100           | 100                | 250                     | 250                      |
| 4 ppm | 200      | 100           | 200                | 250                     | 250                      |
| 6 ppm | 100      | 100           | 300                | 250                     | 250                      |
| 8 ppm | 0        | 100           | 400                | 250                     | 250                      |

依序加入：去離子水、Tris-buffer、PDCA、汞離子溶液、MPA-Au Nps

## 肆、實驗結果

### 一、利用Uv-Vis測量溶液中汞含量

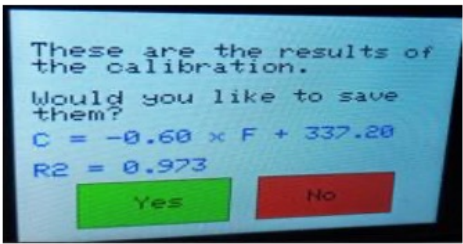
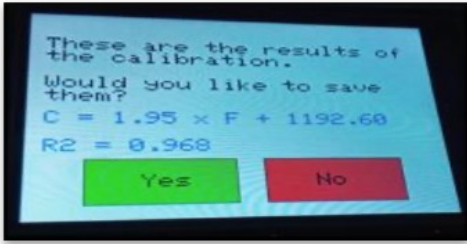
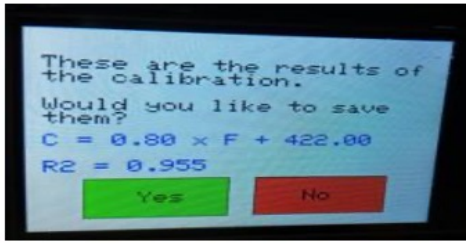
使用去離子水配置五種濃度 ( 0、2、4、6、8 ppm ) 的汞離子溶液並添加MPA-Au Nps



使用Uv-Vis 測量的線性迴歸圖

### 二、利用自製快篩器測量溶液中汞含量

使用去離子水配置五種濃度 ( 0、2、4、6、8 ppm ) 的汞離子溶液並添加MPA-Au Nps

|  |   |  |
|--|---|--|
|  |  |  |
| 第一次快篩器測量校正， $R^2=0.97$   | 第二次快篩器測量校正， $R^2=0.96$  | 第三次快篩器測量校正， $R^2=0.95$   |

- 1、透過聚集顆粒不同導致的吸光值差異，將吸光值與濃度關係數值進行線性回歸。
- 2、得出自製快篩器 $R^2=0.96\pm0.01$  並與分光光度計 Uv-Vis 比較，已經具有一定可信度。

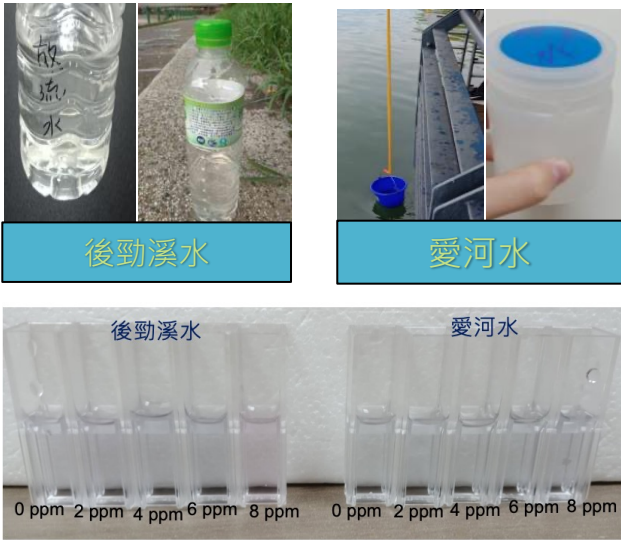


### 三、實際檢測放流水中的汞濃度

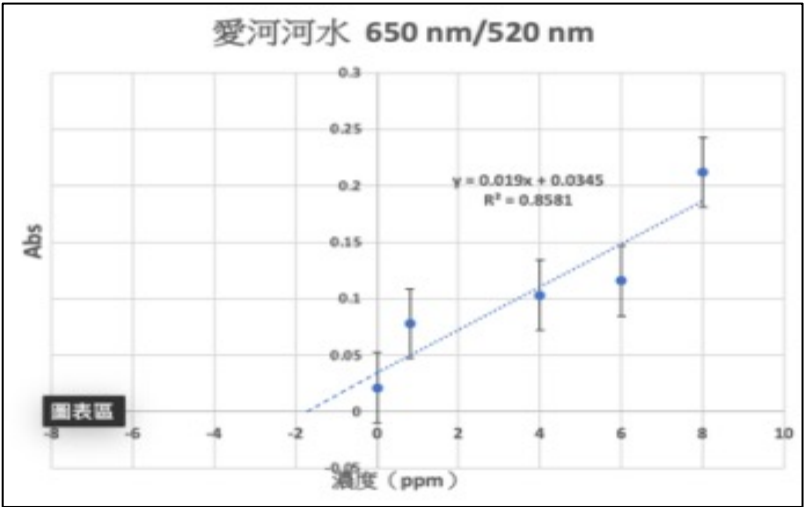
將自製機器實際運用於放流水之檢測！

愛河水和後勁溪五個濃度（ 0、2、4、6、8 ppm ）溶液配置比例圖：

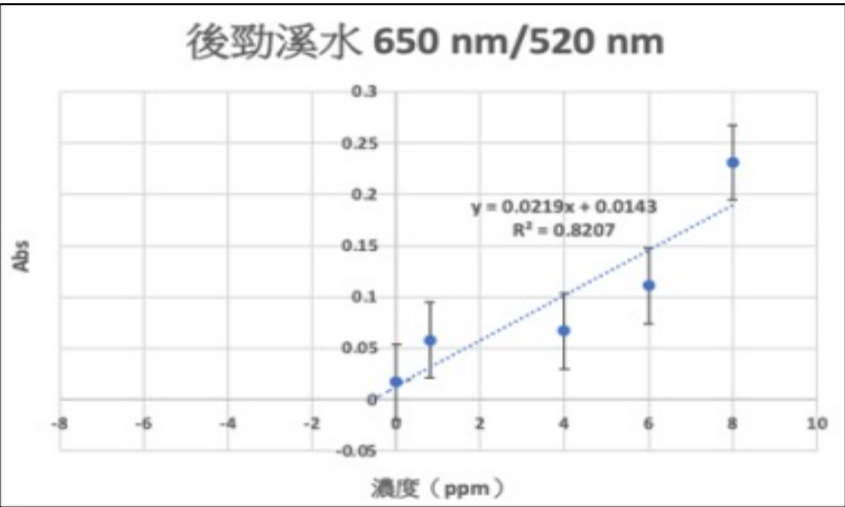
| 種類    | 放流水（ ul ） | MPA-Au NPs(ul) | 10 <sup>-4</sup> M汞溶液(ul) | PDCA(10 <sup>-3</sup> M) (ul) | Tris-buffer(pH9.0) (ul) |
|-------|-----------|----------------|---------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| 0 ppm | 400       | 100            | 0                         | 250                           | 250                     |
| 2 ppm | 300       | 100            | 100                       | 250                           | 250                     |
| 4 ppm | 200       | 100            | 200                       | 250                           | 250                     |
| 6 ppm | 100       | 100            | 300                       | 250                           | 250                     |
| 8 ppm | 0         | 100            | 400                       | 250                           | 250                     |



分光光度計測量結果：



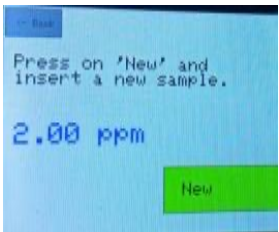
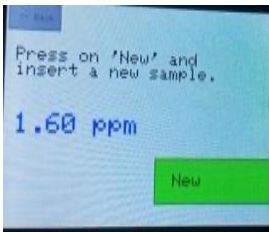
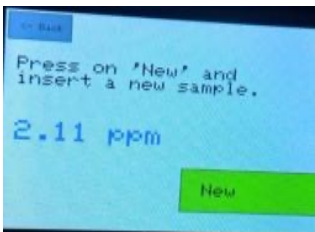
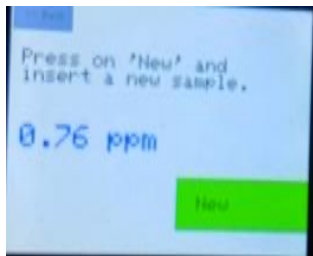
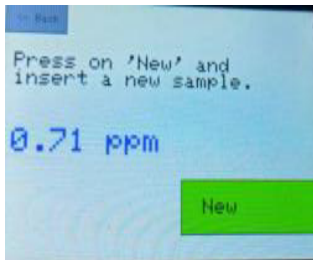
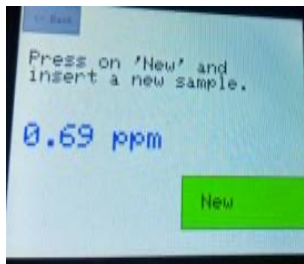
愛河河水檢量線（ Uv-Vis ）。



後勁溪水檢量線（ Uv-Vis ）。

三、實際檢測放流水中的汞濃度

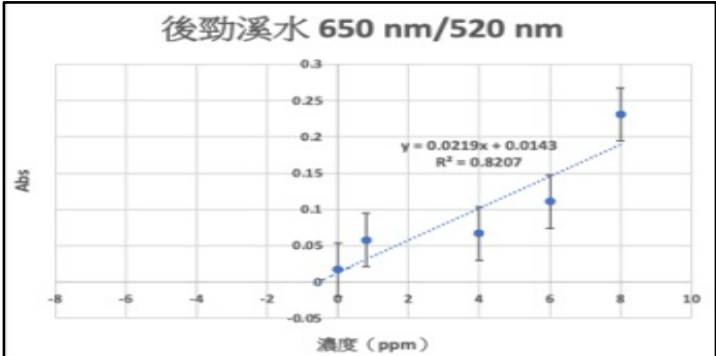
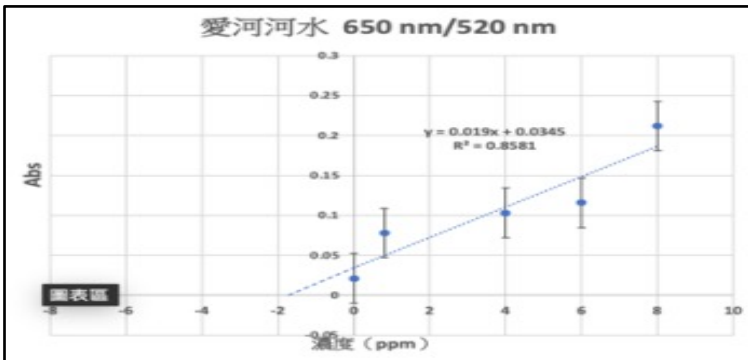
自製快篩器測量結果：

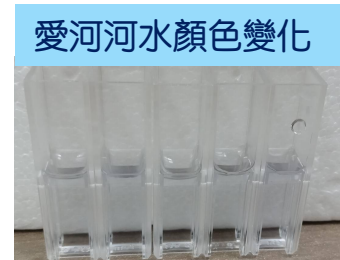
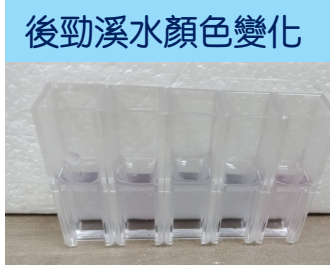
|  |   |   |   |   |   |
|--|---|---|---|---|---|
|  |  |  |  |  |  |
|--|---|---|---|---|---|

愛河河水自製機器檢測結果（平均測量值為：1.90 ppm）

後勁溪溪水自製機器檢測結果（平均測量值為：0.72 ppm）

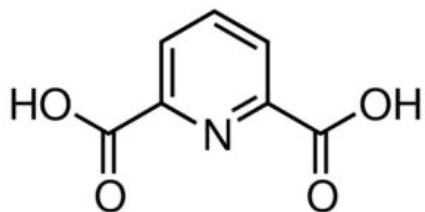
放流水濃度計算（利用外插法求得其值）：

|                 |  |   |
|-----------------|--|---|
| 線性回歸<br><br>檢量線 |  |  |
|                 | 後勁溪水（放流水）<br>$Y=0.0219X+0.0143$<br>$R^2=0.82$                                      | 愛河水（放流水）<br>$Y=0.019X+0.0345$<br>$R^2=0.85$   |
|                 | 標準添加法（後勁溪水）：<br>Y（吸收度）=0時（利用外插法），<br>X（濃度）=0.65 (ppm)<br>Uv-Vis與自製快篩器測量差異值：0.1076  | 標準添加法（愛河水）：<br>Y（吸收度）=0時（利用外插法），<br>X（濃度）=1.81 (ppm)<br>Uv-Vis與自製快篩器測量差異值：0.0513    |

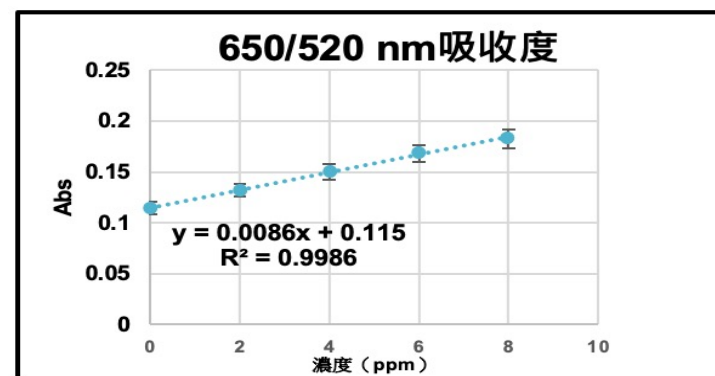


## 四、PDCA與硫醇的選用

查詢相關資料，發現若在溶液中先添加**PDCA**(螯合配體)，會因**PDCA**孔隙大小與汞離子十分相近，因此易與汞結合，而能幫助奈米金粒子抓取溶液中的汞離子，使**MPA-Au NPs**和汞離子結合的專一度提高，大幅度地提升無機汞濃度測量的準確性。而**MPA-Au NPs**和汞離子結合使顆粒變大，吸收波峰紅移，溶液顏色變藍。

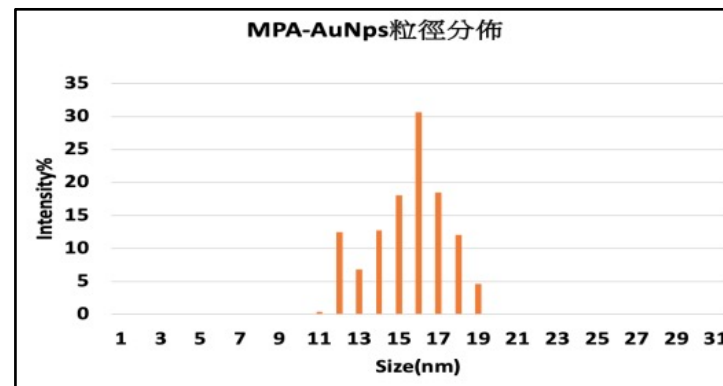
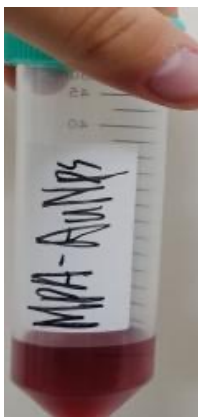


2,6-吡啶二甲酸試劑(2,6-pyridinedicarboxylic acid, PDCA)



有加入PDCA測量的迴歸線，其 $R^2$ 值為0.99

最後我們選擇以**3-巯基丙酸(MPA)**修飾金奈米粒子，MPA一端有硫醇基，能夠和金奈米粒子相接；而另一端有羧酸根，會和汞金屬離子形成配位，彼此帶有相反電荷，可造成表面帶負電量的減少，從而聚集顆粒便大，顏色加深。



被MPA修飾的奈米金其粒徑介在11 nm~19 nm，並無沉澱。

## 伍、討論

一、膠體溶液中的廷得耳效應（聚集越大，吸收波長紅移，溶液顏色偏藍，聚集顆粒越小，吸收波峰藍移，溶液顏色偏紅。）

二、光譜波長選擇與背景處理：我們用**650/520 nm**是因為這兩個值改變時最具代表意義，且將兩個光相除可以去除環境造成的干擾。

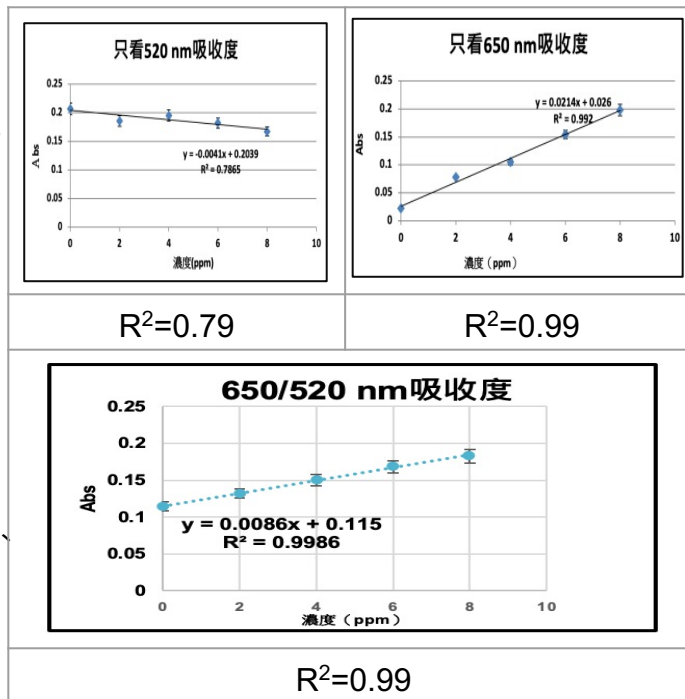
三、可改變含硫醇的碳鏈長短或不同官能基(團)，分別檢測不同的離子溶液。其中一端SH附著奈米粒子上；另一端以COOH、NO<sub>2</sub>、NH<sub>2</sub>、OH等有機官能基(團)連接，由於硫醇分子間吸引力，彼此間會互相結合、聚集。再加入不同的離子溶液(Mn<sup>+</sup>)，競爭金粒間結合位，造成金粒聚合而顏色改變的效果。

## 陸、結論

一、對應目的(一)，結合Arduino顏色感測器，利用五個標準溶液校準，得到不同濃度與吸光度的線性關係，藉此辨認汞離子汙染程度。

二、本儀器做為快篩汞汙染，便宜又有效率（測量一次約5分鐘）的方式，材料成本約1355元。

## 柒、參考資料



| 耗材   | 價格             | 價格 / 次 |
|------|----------------|--------|
| 四氯金酸 | 7500/1g(3.9ml) | 0.02元  |
| PDCA | 1700/25g       | 0.002元 |

| 設備               | 價錢(元) |
|------------------|-------|
| Arduino Mega2560 | 250   |
| TFT觸控顯示螢幕        | 370   |
| TCS34725顏色感測器    | 132   |
| 麵包板              | 50    |
| 電阻               | 45    |
| 杜邦線              | 8     |
| 紅、綠雷射            | 500   |
| 總價               | 1355  |

一、 Lobnik, A.&Urek, S. K. (2011). Nano- Based Optical Chemical Sensors. Journal of Nano Research, 13, 99-110.

二、 Mori, K.&Yamashita, H. (2011). Design of Colloidal and Supported Metal Nanoparticles: Their Synthesis, Characterization, and Catalytic Application. Journal of the Japan Petroleum Institute, 54, 1-14.