

中華民國第 54 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 物理科

030103

簡易光譜測量在農藥檢測的應用

學校名稱：宜蘭縣立復興國民中學

作者： 國三 游淳仁 國三 陳佑昕 國二 曾浩瑜	指導老師： 張揮鈺 吳月鈴
---	-----------------------------

關鍵詞：農藥、光譜、STS

摘要

本研究旨在建立光譜測量(在農藥檢測方面)普及化的基本需求，希望建構可在普遍環境下使用之光譜檢測系統。

簡易光譜儀中利用卡式馬達與感光元件(本研究中為光敏電阻)，旋轉週期與測量時間差，設計公轉式感測系統(the System of Twirl Sensor，文中簡稱 STS)，提高光譜儀感測之解析度。在簡易光譜儀的核心目標(提高光譜科學普及度)中，加強稜鏡的可採用性。

研究中試著討論光譜和待測物的相關性，並以研究現有光譜為基礎，盼能建立連複方農藥都能預測的方式。

壹、研究動機

近來的農藥問題頻傳，常常無法得知市場蔬果是否含有農藥，所以希望能透過實驗室中檢測物質的方式，檢測殘留農藥的種類與濃度。根據調查，多數消費者會希望能親自檢驗蔬果的農藥殘留，如若能設計一種方式，在便利與低價的原則下達成目標，應該就能使消費者在食用農產品時多一分安心。

此外，生活中辨析未知物的方法不少，但考量成本與實用性，能有效運用的不在多數。容易接觸到的光譜科學即是一例，但其比對誤差及運算複雜程度，可能是使用時的缺點。故咱希望在本研究中找到有機物光譜分析上的物理規則。若能成功，興許可以此方式佐以微電腦完成光譜檢測普及化的目標。

貳、研究目的

(一)光譜定位及測量位置(多為演算，故不在<伍、實驗結果>呈現)

1.以幾何光學(Snell's Law)討論-色光位置確定下，色散行為的發生

(二)設計簡易光譜儀

1.設計簡易光譜儀分光機制

2.設計簡易光譜儀感測系統

(1)光敏電阻照光面積與阻值關係

(2)以平儀式系統記錄吸收光譜

(3)以 STS 記錄吸收光譜

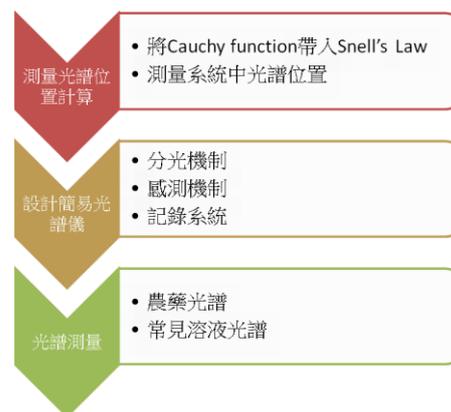
3.處理光譜儀記錄方式

(三)農藥光譜檢測

1.測量農藥光譜

2.觀察農藥光譜相關性

3.以 STS 系統處理光譜



參、研究設備及材料

1.	三稜鏡	2.	壓舌棒	3.	鐵架
4.	卡式馬達	5.	絕緣膠布	6.	白熾燈
7.	Arduino UNO 板	8.	10kΩ 電阻	9.	鐵絲
10.	光敏電阻	11.	電源供應器	12.	電線
13.	吸管	14.	筆記型電腦	15.	釘書機
16.	分光光度計	17.	照度計	18.	三用電表

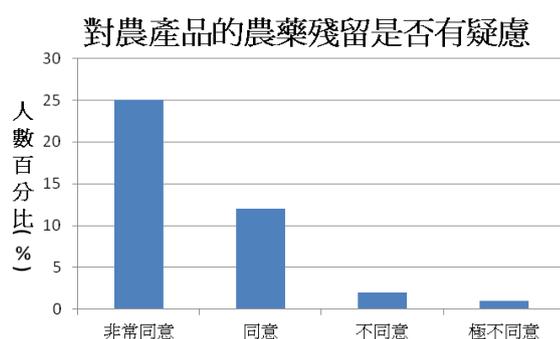
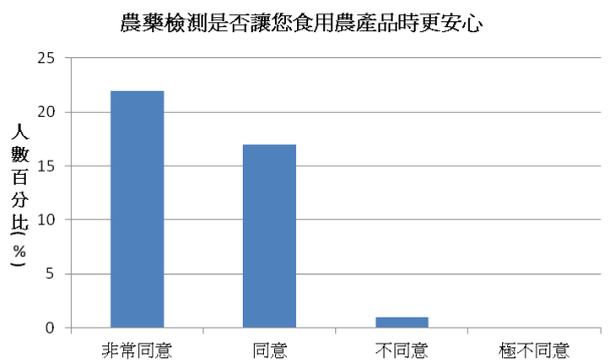
■ 材料 2、4、5、7~13 為 STS 系統材料

肆、研究過程與方法

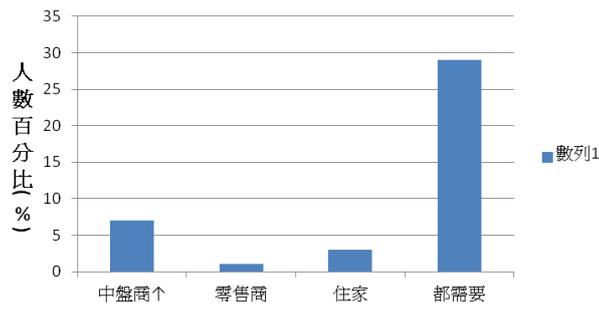
前置作業：

為了解大眾對農藥殘留的擔心，是否會讓他們願意購買(若是，價格考量為何)或使用「簡易光譜儀」。或是除了咱所擔心的農藥問題，什麼樣的溶液也會使大眾擔心是否殘留。咱進行問卷調查，詢問賣場中的消費者對農藥殘留的看法，也讓咱確定這樣的光譜測量並非僅在實驗室中 useful。

問卷調查結果如下：

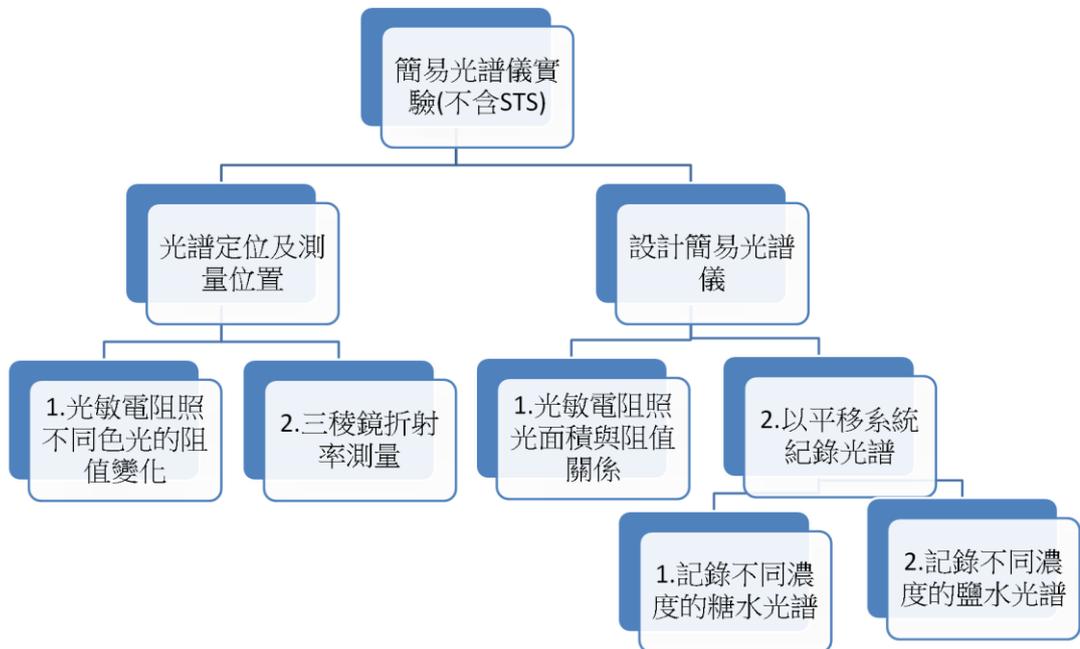


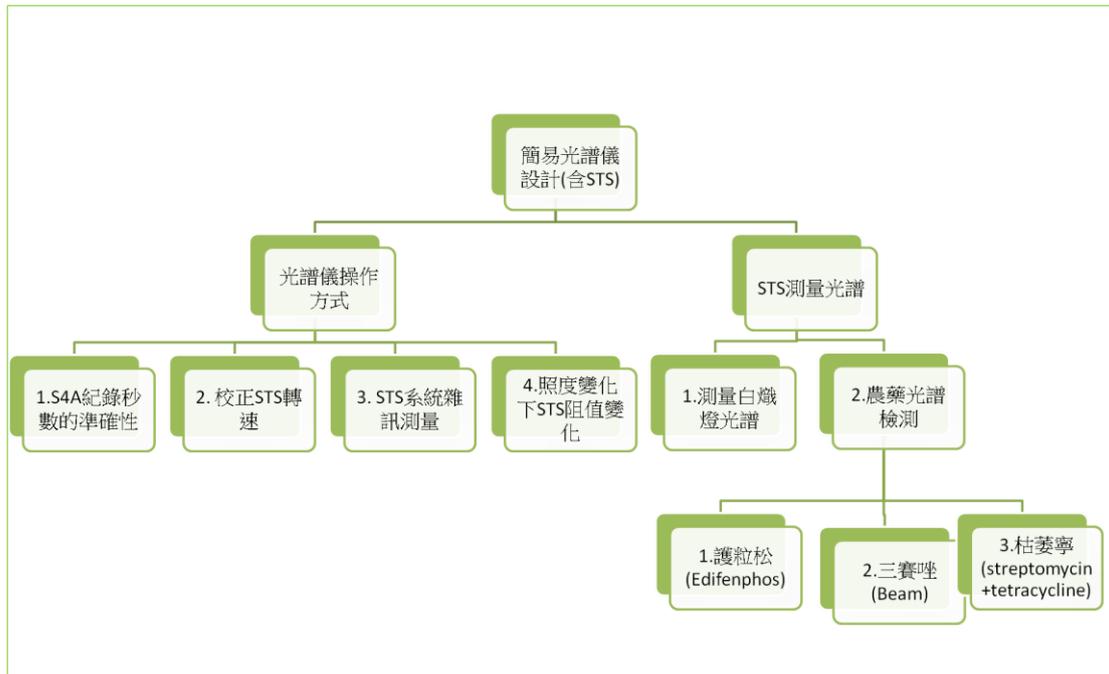
農產品買賣的哪一階段需要



也有許多人的建議(希望還能檢測)：重金屬、塑化劑、含菌量、食安問題.....。

本研究主要可分為兩個階段，一是討論 STS 前，及討論(及操作)STS 後





(一) 光譜定位及測量位置

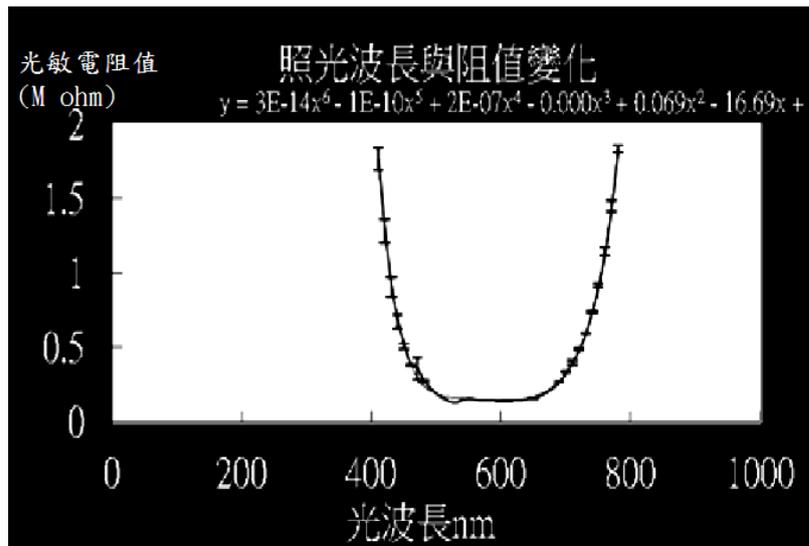
1.色散過程

☆ 實驗一之 1-前置作業：光敏電阻對色光(同振幅)的阻值對照操作過程：

- (1)利用分光光度計可透過光柵及選光系統區分色光的效果，將光敏電阻以絕緣膠布固定於分光光度計感光區域，並在照射不同色光時分別測量阻值。
- (2)在未打光時以布料蓋住分光光度計之空隙，以使光敏電阻阻值大於 $2M\Omega$ (本研究採用之光敏電阻暗電阻約為 $2M$)，確保分光光度計外的光線不會對光敏電阻訊號產生有效影響。
- (3)以光波長 $10nm$ 為區間，以電表測量固定色光下的電阻值。實驗中測量波長範圍在 $410\sim 780nm$

☆ 實驗一之 2-前置作業：實驗中採用之三稜鏡的折射率測量操作過程：

- (1)以白熾燈的光譜為基準。根據光敏電阻對於色光敏感度頗高(波長與阻值換算公式趨近於 $y = 3E-14x^6 - 1E-10x^5 + 2E-07x^4 + 0.069x^2 - 16.69x + 1677$)，故未換算吸收度的譜圖，在可見光為中心區域(極小值)，也會有類似(同樣次數)函數型出現，比對波長與光敏電阻阻值換算公式後即可取得各色光位置的近似值。



- (2)以白熾燈照射三稜鏡矩形面(燈泡垂直稜鏡矩形面)，其中一矩形面垂直桌面
- (3)測量光線偏折(測量時以光敏電阻測量雷射筆光點與環境照度差，誤差範圍為一個光敏電阻直徑，約為 1mm)
- (4)利用柯西散射公式 $n(\lambda) = B + \frac{C}{\lambda^2} + \frac{D}{\lambda^4} + \dots$ ，計算出 B、C、D 等值



2. Cauchy 散射公式與 Snell's Law 下的散射演算

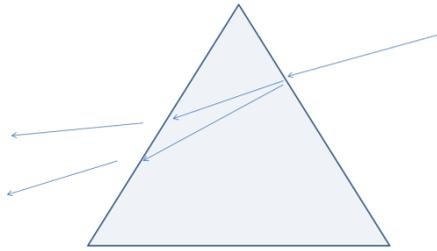
(1)由 Snell's Law 與 Cauchy 散射可推知：

由於一大氣壓空氣折射率接近 1(與稜鏡折射率相比，幾乎可忽略)，故式中 n_1 省略，將折射率以 Cauchy 函數代換

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$$

$$\sin\theta_1 = \left(B + \frac{C}{\lambda^2} + \frac{D}{\lambda^3} \right) \sin\theta_2$$

因此稜鏡散射在考慮兩次折射下，可見光譜範圍(390~780)如下



$$\begin{cases} 120^\circ - \sin^{-1} \frac{\sin \theta_1}{\left(B + \frac{C}{\lambda_1^2} + \frac{D}{\lambda_1^3}\right)} = \theta_{\lambda_1} \\ 120^\circ - \sin^{-1} \frac{\sin \theta_1}{\left(B + \frac{C}{\lambda_2^2} + \frac{D}{\lambda_2^3}\right)} = \theta_{\lambda_2} \end{cases}$$

(二)設計簡易光譜儀

1.設計簡易光譜儀分光機制

由於解析度(分辨本領)的提高方式有所不同，增加刻痕提高解析度的光柵較為現代分光系統所接受。相較之下稜鏡的分光解析度要提高，在系統中加裝凹透鏡、凸面鏡、平面鏡是較常見的做法，可是如此使得系統複雜化，裝置大小增加，這樣的缺點反而掩蓋了稜鏡低價的優勢。

為此分光機制如若可以從「感測系統」著手會較為有利(此部分細節會在下節中提出)。

分光系統的「分光概念」兩方面解讀照光面、光源。基本的三角學告訴我們，當照光面的 θ 離 90 度越遠(0 到 180 度間)，分光的效果越好(分辨本領越高)。即 $\sin \theta \propto \frac{1}{\lambda}$ ($\sin \theta$ 與照光面 λ 為負相關，成反比)



在「簡易光譜儀」的設計上，我們的目標是將光譜量測普及化，故只要能做到預期效果(能與理論大致吻合)即可，因此在價格競爭上較具優勢的三菱鏡為我們的分光物件。

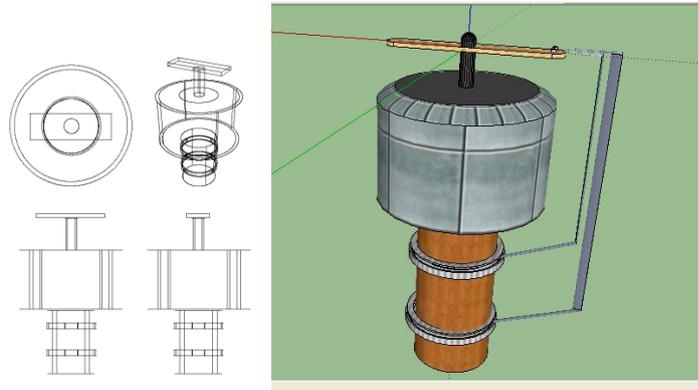
☆ 實驗二之 1：光敏電阻照光面積與阻值關係

操作過程：

- (1)先測量光敏電阻在約 50lux 的環境下電阻值。
- (2)以黑色美術紙蓋住光敏電阻，並確定光敏電阻在覆蓋黑色美術紙的情況下阻值超過電錶所能顯示之 200k Ω 。
- (3)利用黑色美術紙遮光，將照光面積由 16mm²、12mm²、8mm²、4mm² 逐漸縮小 4mm²，並記錄光敏電阻在照光面積變化下的阻值變化。

2.設計簡易光譜儀感測系統

誠如上節，本研究中希望透過照光面 θ 角的改變，增加光譜照射長度。並以 STS(公轉式感測系統)將光敏電阻的週期運動及記錄系統的紀錄秒數互相配合，以達到記錄間距(多遠記錄一次)縮小的效果。



☆ 實驗二之 2：以平移系統紀錄光譜

操作方式：

- (1)以廢棄光碟機讀碟部分做為光譜測量的平移系統
- (2)透過 S4A 控制馬達，使裝置於平移系統上的光敏電阻等速移動
- (3)透過 S4A 記錄光敏電阻在固定時間的電阻值
- (4)透過 excel 將檔案製成譜圖

☆ 實驗二之 3：以平移系統記錄不同濃度的糖水光譜

- (1)分別配製體積百分濃度為 10%、20%、30%、40%、50%的糖水
- (2)以平移系統記錄分別記錄不同濃度的糖水光譜

☆ 實驗二之 4：以平移系統記錄不同濃度的鹽水光譜

- (1)分別配製體積百分濃度為 10%、20%、30%、40%、50%的糖水
- (2)以平移系統記錄分別記錄不同濃度的鹽水光譜

3.處理光譜儀記錄方式

實驗中用來記錄的方式為 arduino 的 voltage 輸出，並利用 S4A 將數字經由 excel 處理成需要的資料。

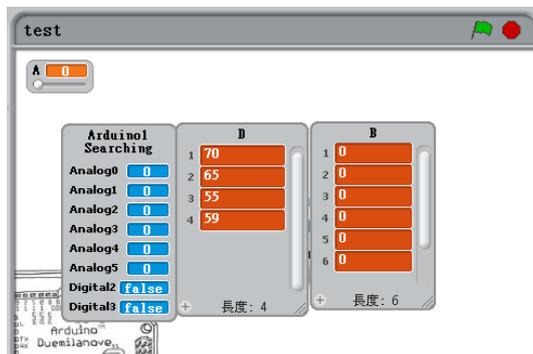
由於 S4A(Scratch for arduino)的紀錄秒數多少有些誤差，因此須先測量 arduino 較錄秒數的準確性

☆ 實驗二之 5-前置作業：S4A 紀錄秒數的準確性

操作過程：

- (1) 編寫程式，測量系統在單位時間，記錄多組固定秒數時的項數。圖形

化程式如下：



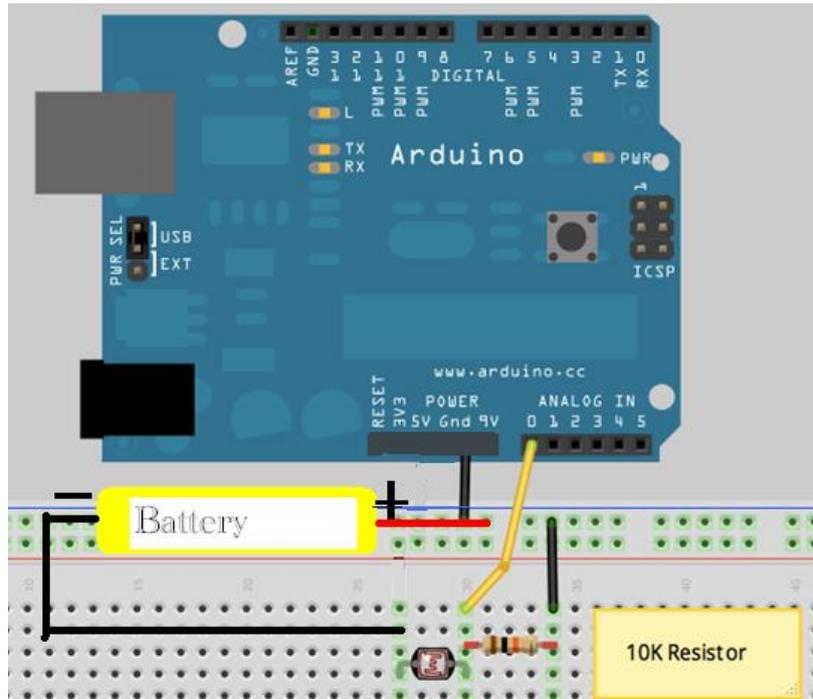
(2)更改紀錄秒數間隔，從 0.5s 做到 1.5s(間隔 1s)，各組重複操作 50 次。

☆ 實驗二之 6：以紅光雷射校正 STS 轉速

操作過程：

- (1) 以 arduino 開發環境，編寫程式使 arduino 每 0.001 秒一次，記錄電阻值。
- (2) 接通電路(正向電壓 12.5V)，使 STS 轉動(STS 採用卡式馬達工作電壓 13.2V)。
- (3) 將雷射筆拆開，將紅光雷射元件部分改成 NO(常開)，以確保紅光雷射的強度穩定。並將紅光雷射接通，將其架設於鐵架上，固定照射。
- (4) 研究中採用之紅光雷射半徑 0.5mm，恰可照射在光敏電阻上，而不超過光敏電阻範圍。
- (5) 記錄轉動時光敏電阻的訊號，其中超過平均電壓的訊號，有可能是照射到部分紅光雷射而使阻值降低電壓升高。(研究中均在暗室中操作，

$$\text{並預測背景值} R_c = \frac{V_{cc}R_1}{V} - R_1$$



✧ 實驗二之 7：STS 系統雜訊測量

操作過程：

(1) 以 arduino 開發環境，編寫程式使 arduino 每 0.53625 秒一次，記錄電壓值。

✧ 實驗二之 8：照度變化下 STS 阻值變化

操作過程：

(1) 以 arduino 開發環境，編寫程式使 arduino 每 0.53625 秒一次，記錄電壓值變化。

(2) 已可變電阻改變白熾燈光通量，使 STS 上的光敏電阻感測到的照度變化。記錄 STS 電壓訊號與照度關係

(3) 利用 Serial Monitor 讀取光敏電阻阻值變化。

(4) 降噪將所得數據任何數值為 0 的項目去除，並以 arduino 雜訊出現的周期為測量時間，將雜訊消除。

(三) 農藥光譜檢測

1. 檢測農藥濃度與吸收度關係和模型差別

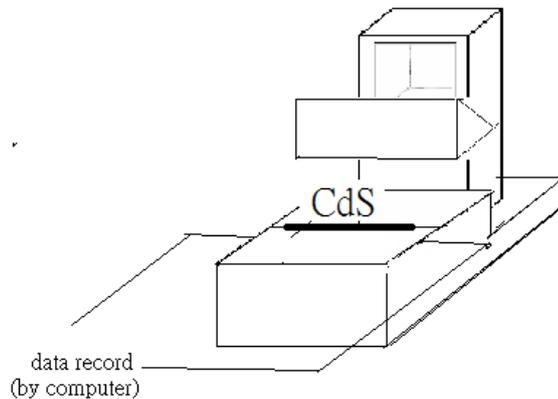
本節我們討論農藥濃度問題，在 wilson-sommerfeld quantization rule 中改變的是離子數，所以機率增加，吸收度增加，但在離子平均動量可能改變的型式也會增加。

在假想空間中，直接改變了投影面積。換言之，如此在討論機率幅時情

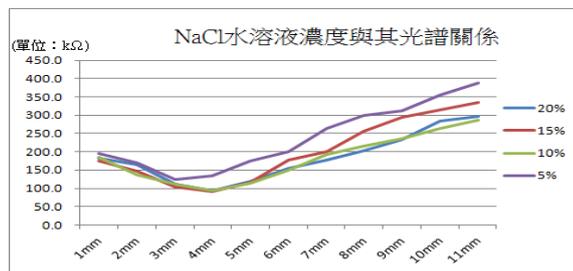
況也會改變，當座標上其中一機率波的橫向量收縮，光波通過的機率增加。(在這之前「可能」也會使通過機率減少)。

理論模型外，測量光譜的操作部分也會在本節做歸納。

剛開始的實驗(光譜測量)，採用的是平移系統，如圖



平移系統是目前光譜儀中最使用的方式。但相對於 STS，仍然受限於記錄時間，造成解析度不高。研究初期以平移系統測量時，測量的最小單位僅有 10nm~30nm，畫出的譜圖可以分析的內容有限。舉例來說不同濃度的鹽水以平移系統搭配 arduino 做出的譜圖，



由於平移系統未能對目標「以簡易光譜儀檢測農藥」產生期望效果，研究後期皆以 STS 為測量系統。

✧ 實驗三之 1：以 STS 測量白熾燈光譜(以下稱原始光譜)

操作過程：

- (1) 以 STS 系統測量白熾燈光譜
- (2) 將光譜進行降噪處理

✧ 實驗三之 2：農藥光譜檢測

操作過程：

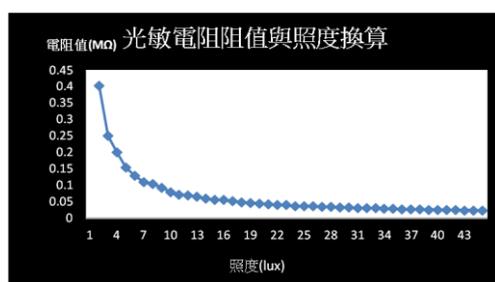
- (1) 分別配製「護粒松」(Edifenphos)、「三賽唑」(Beam,有機硫殺蟲劑 5-Methy1-1,2,4-triazolo(3,4-b)benzothiazole)、「枯萎寧」(streptomycin+tetracycline)等農藥溶液

- (2) 護粒松分別稀釋為 5000 倍、7500 倍、10000 倍、12500 倍、15000 倍
- (3) 三賽唑分別稀釋為 1200 倍、1400 倍、1600 倍、1800 倍、2000 倍
- (4) 枯萎寧同三賽唑分別稀釋為 1200 倍、1400 倍、1600 倍、1800 倍、2000 倍
- (5) 以 STS 紀錄白熾燈(約 20lux)照射護粒松、三賽唑、枯萎寧各濃度時的光譜
- (6) 處理資料並降噪

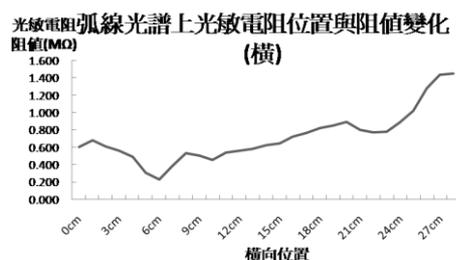
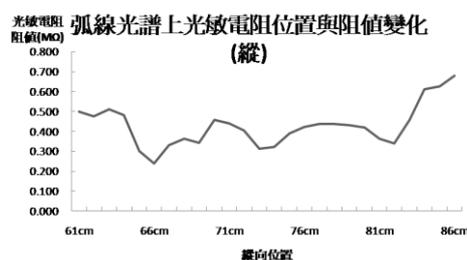
伍、研究結果

(一) 光譜定位及測量位置

1. 光敏電阻對色光(同振幅)的阻值對照

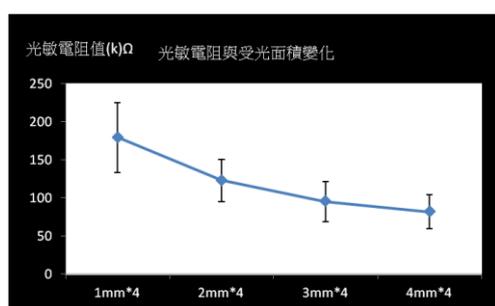


2. 實驗中採用之三稜鏡的折射率測量



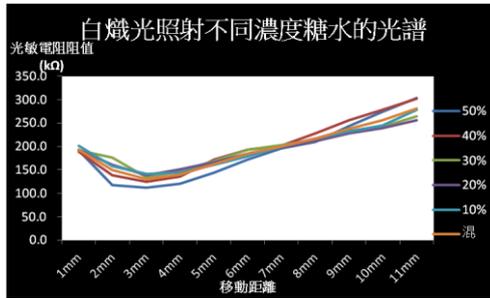
(二) 設計簡易光譜儀

1. 光敏電阻照光面積與阻值關係

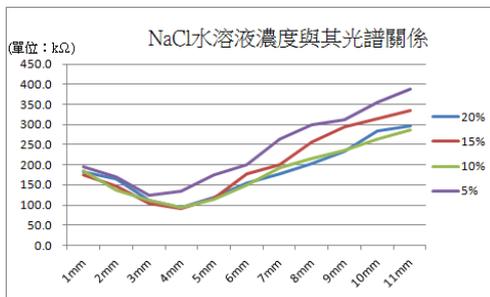


以平移系統紀錄光譜

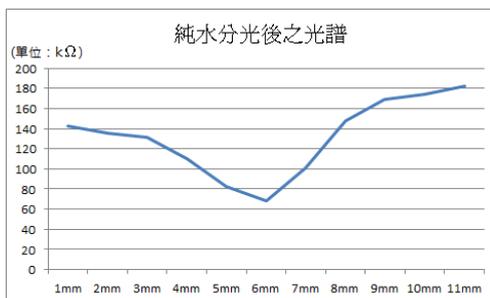
2. 糖水濃度和光譜關係



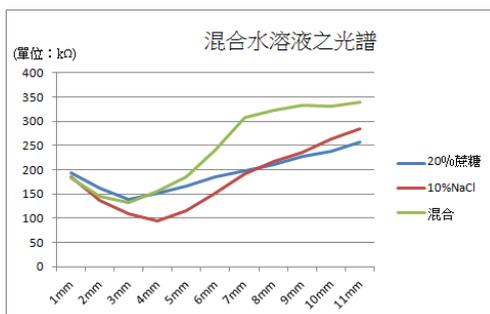
3. 鹽水濃度和光譜關係



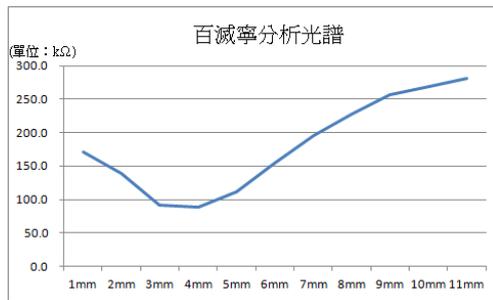
4. 純水分光後光譜



5. 混合溶液的光譜

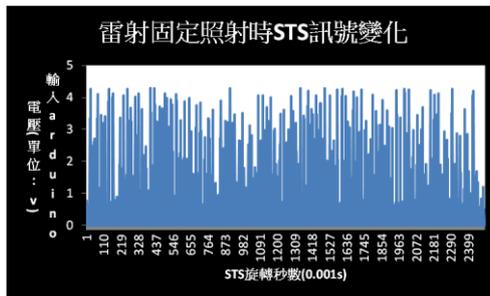


6.農藥百滅靈光譜



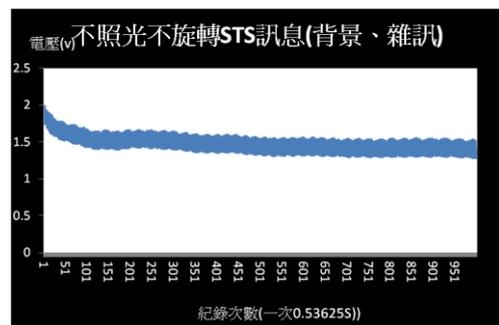
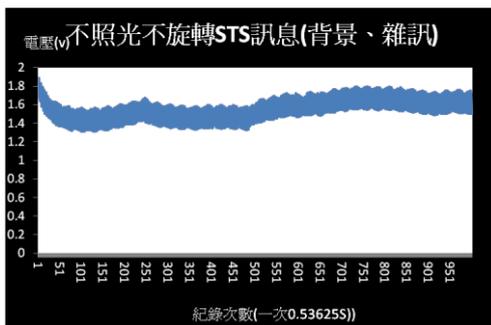
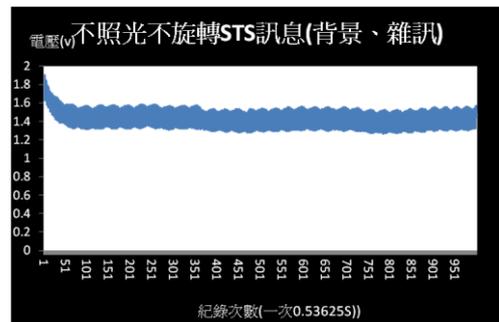
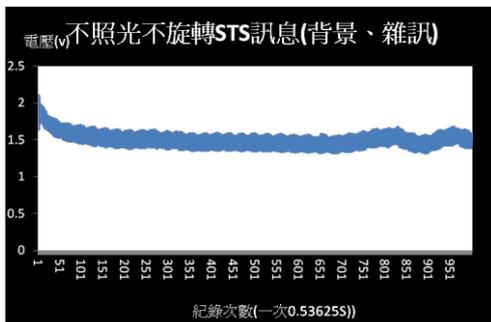
處理光譜儀記錄方式

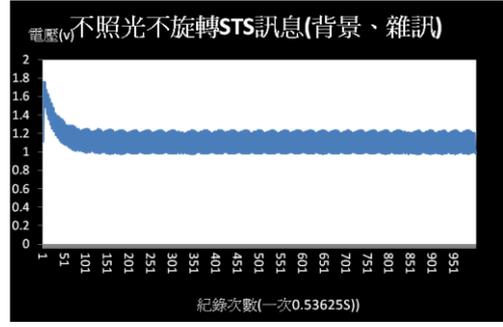
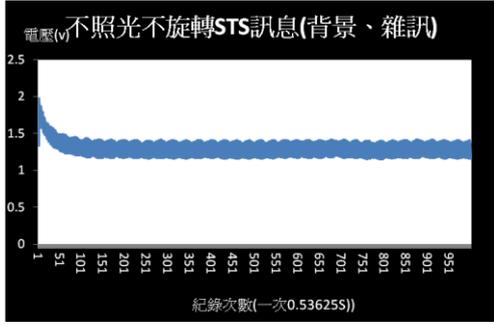
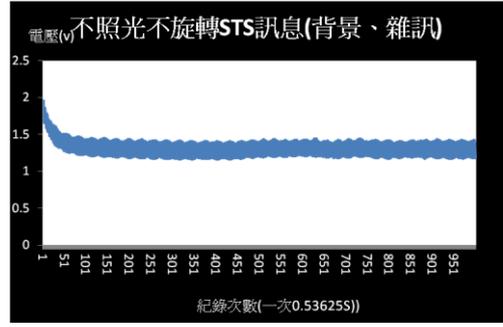
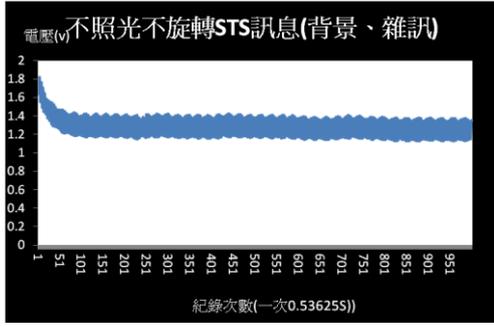
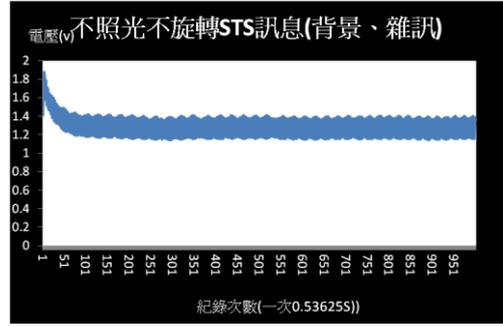
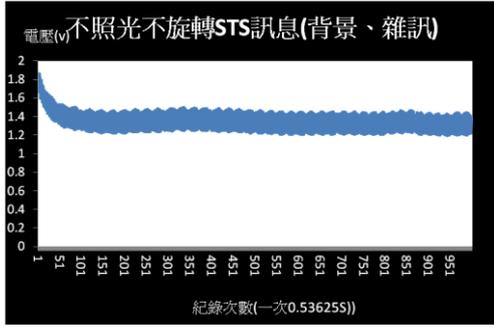
1.以紅光雷射比校正



2.

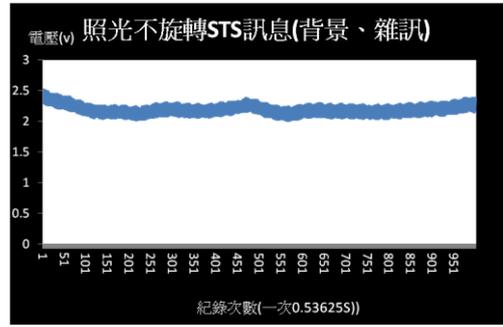
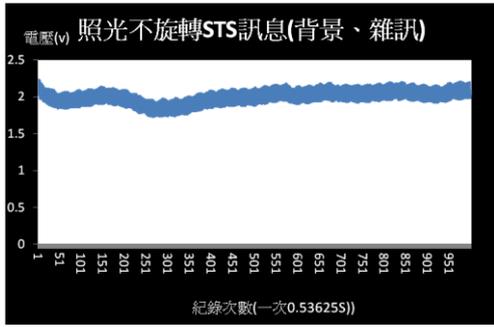
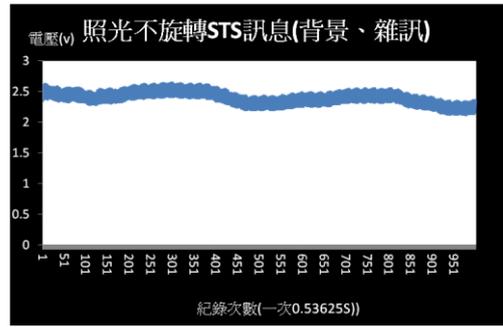
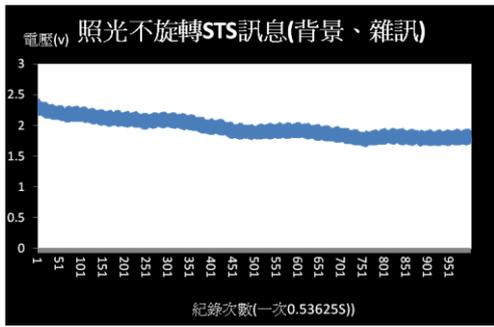
STS 不打光也不旋轉

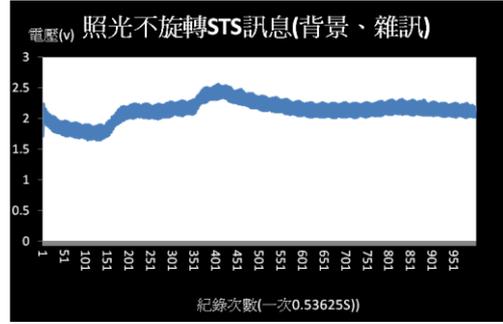
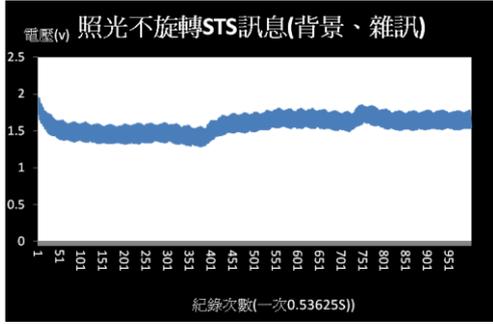
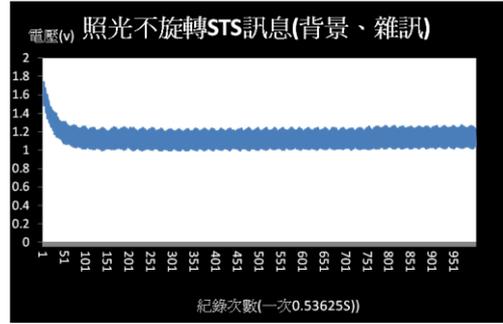
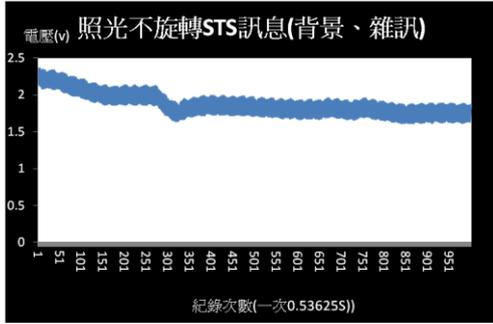
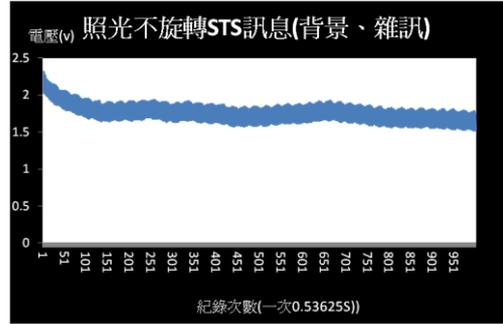
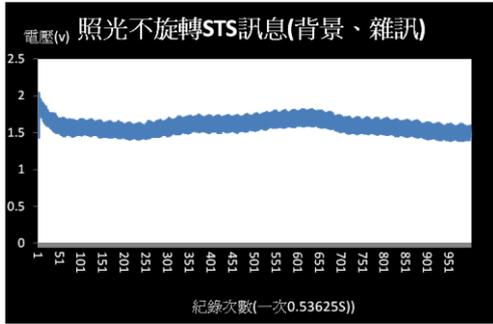




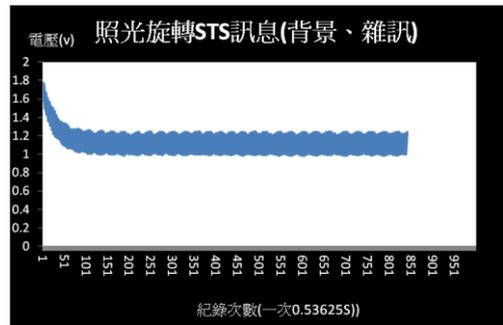
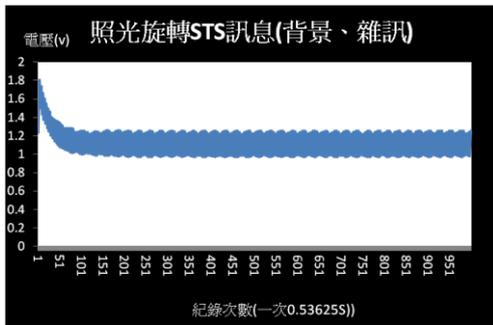
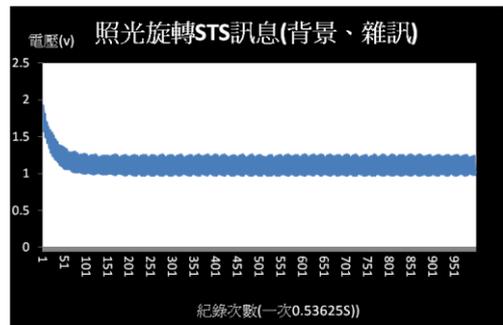
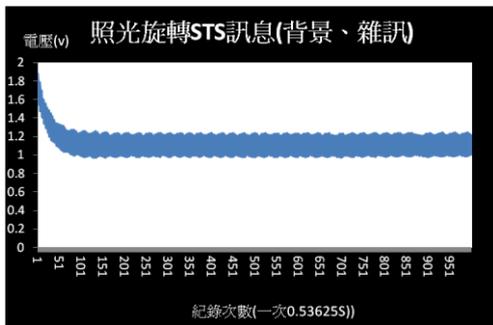
3.

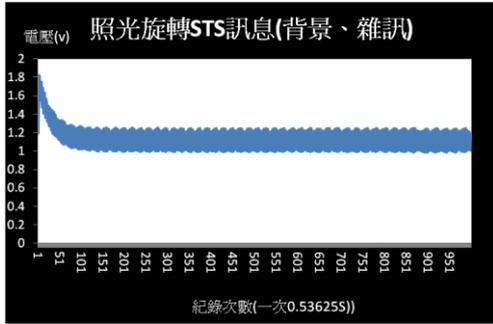
打光但不旋轉 STS





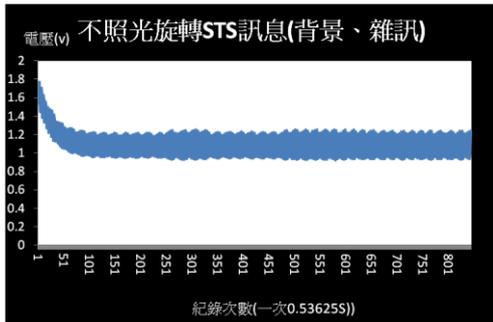
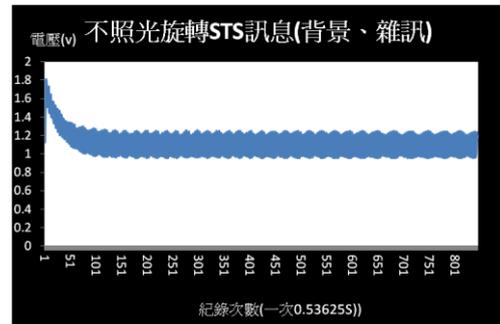
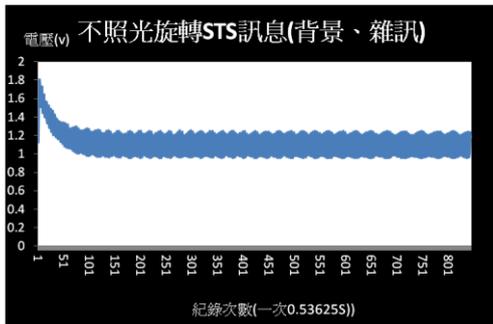
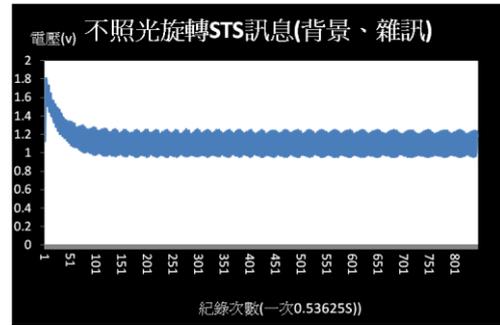
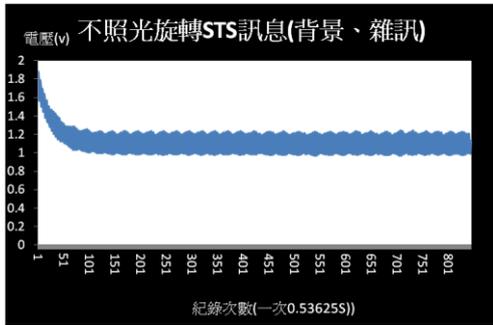
STS 照光且旋轉



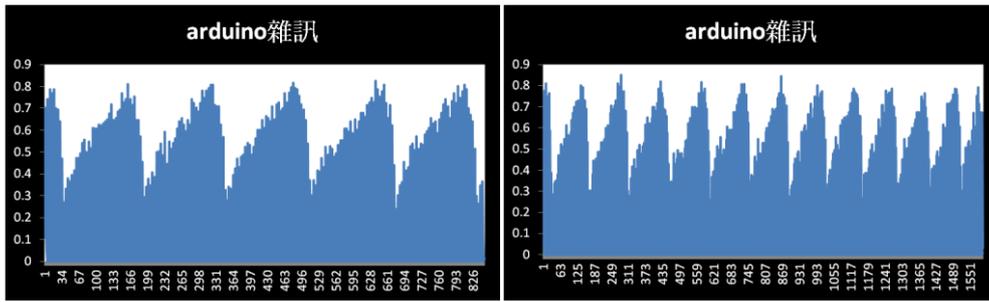


4.

STS 不照光但旋轉

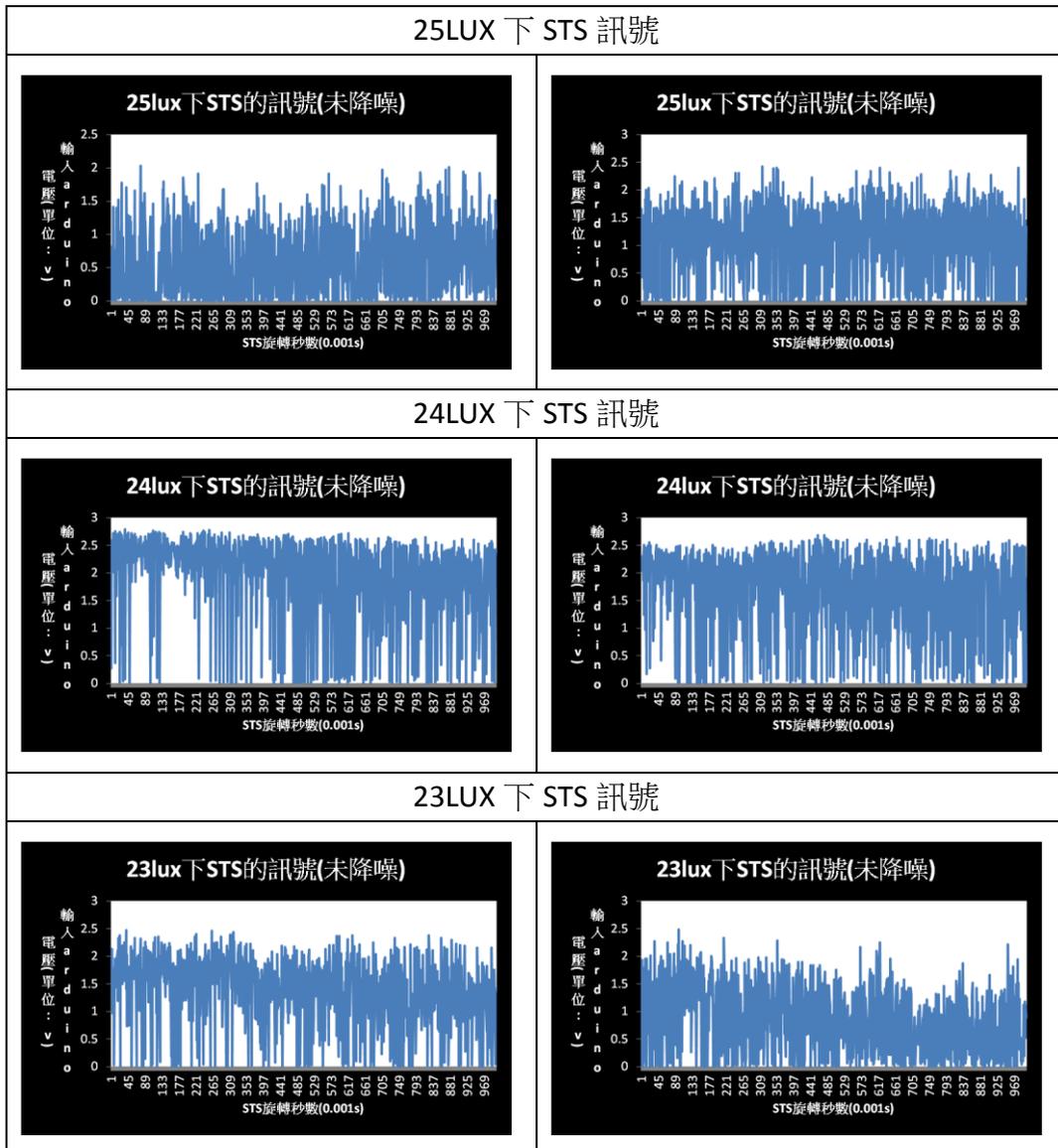


5.Arduino 本身雜訊

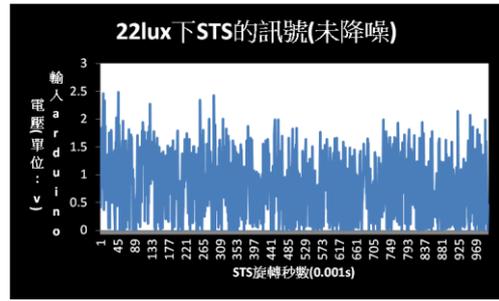
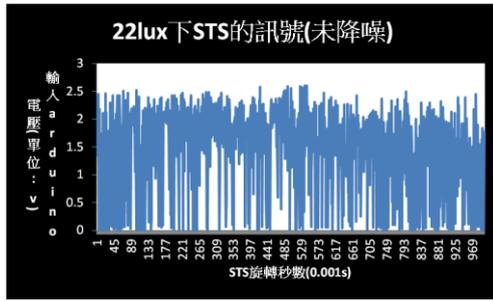


6. 照度變化下 STS 阻值變化

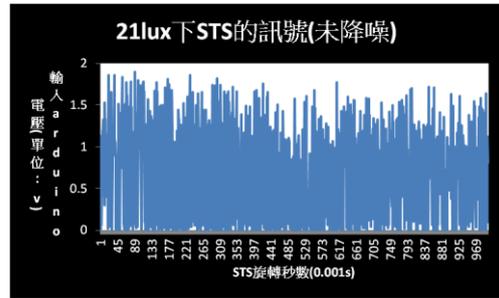
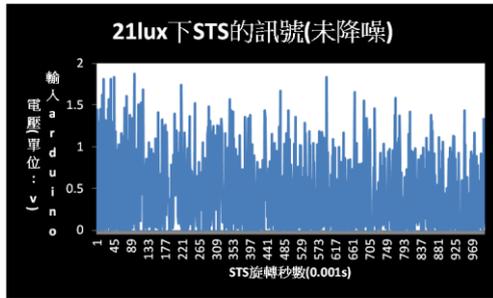
未降噪：



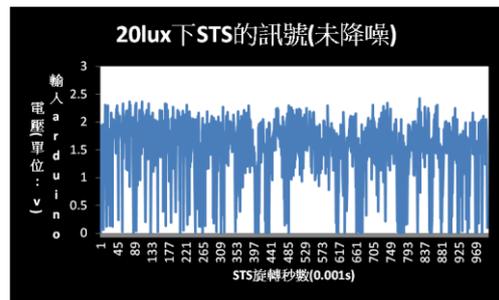
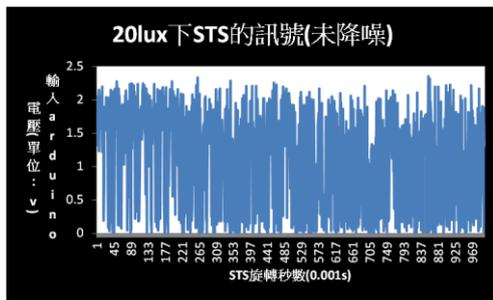
22LUX 下 STS 訊號



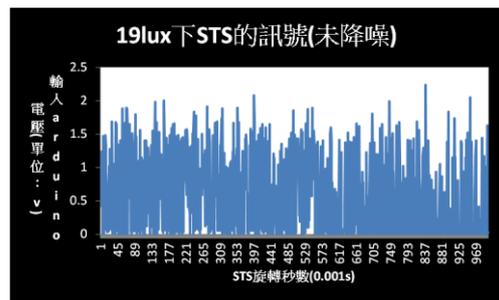
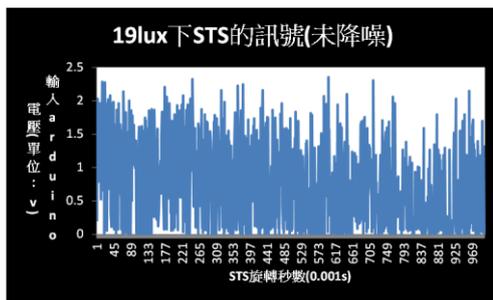
21LUX 下 STS 訊號



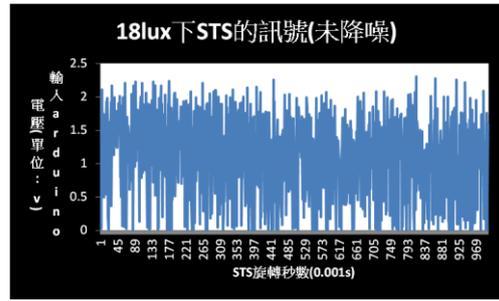
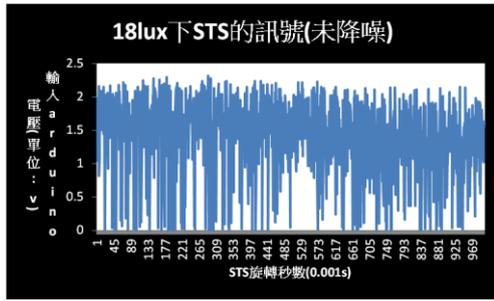
20LUX 下 STS 訊號



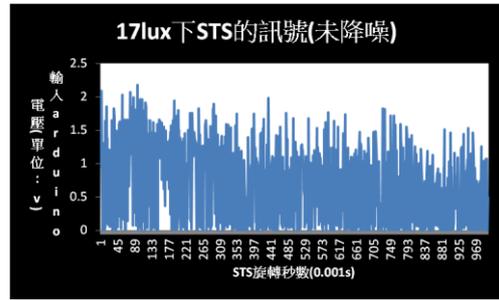
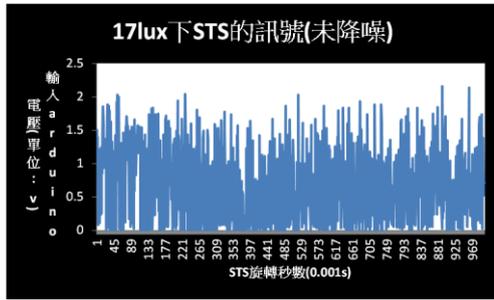
19LUX 下 STS 訊號



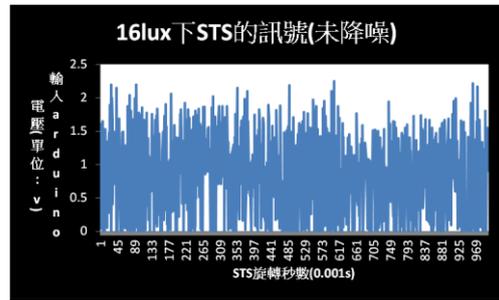
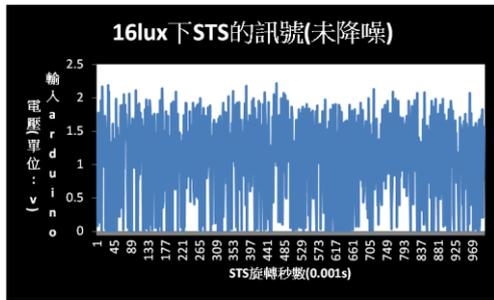
18LUX 下 STS 訊號



17LUX 下 STS 訊號

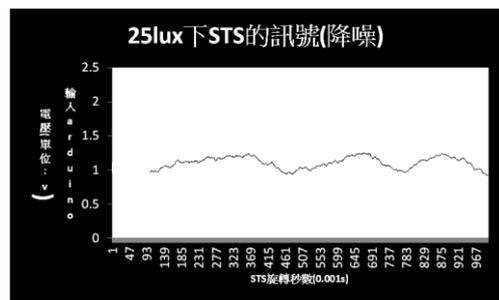
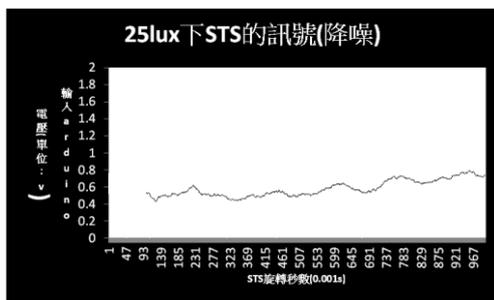


16LUX 下 STS 訊號

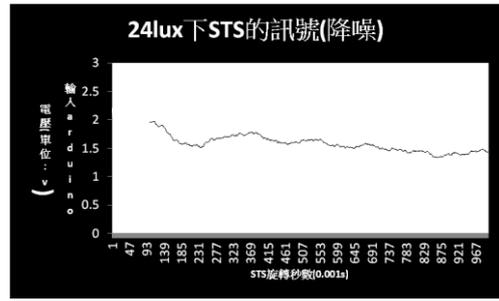
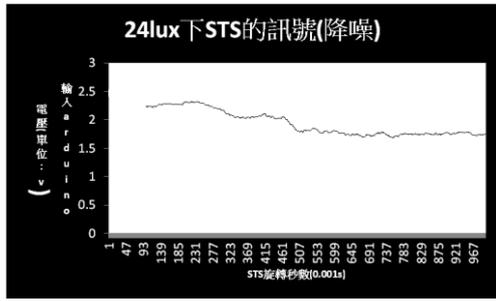


降噪後：

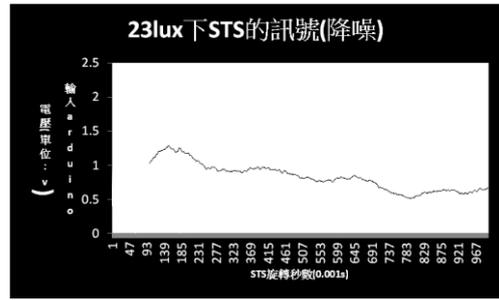
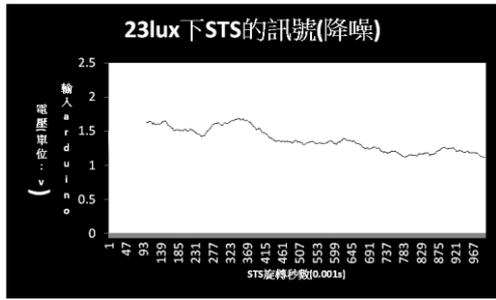
25LUX 下 STS 訊號



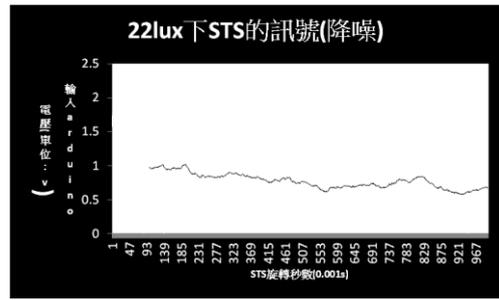
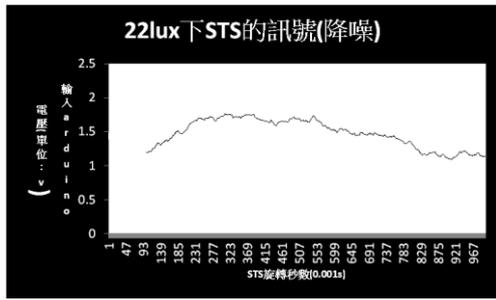
24LUX 下 STS 訊號



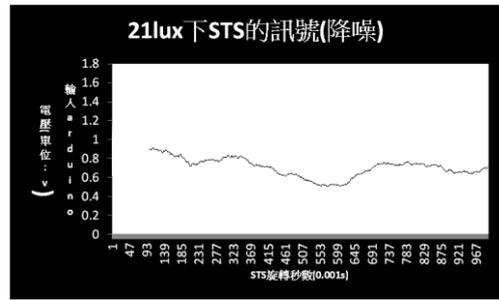
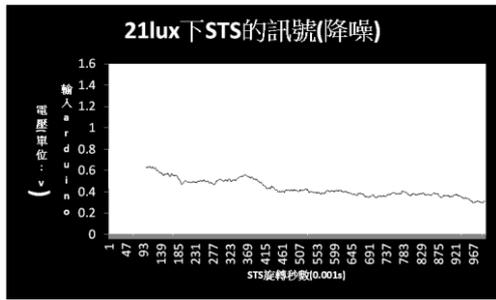
23LUX 下 STS 訊號



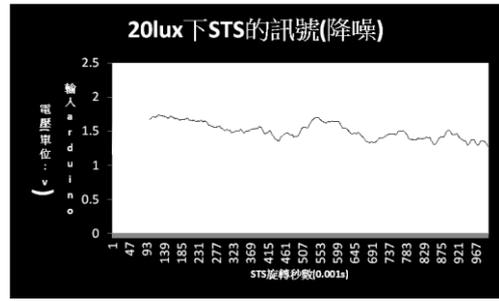
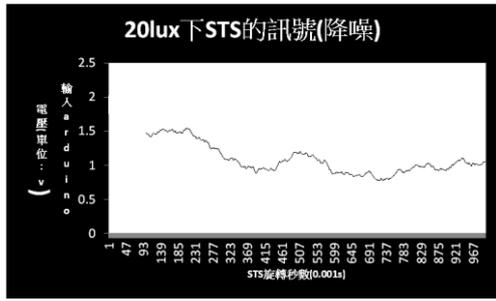
22LUX 下 STS 訊號



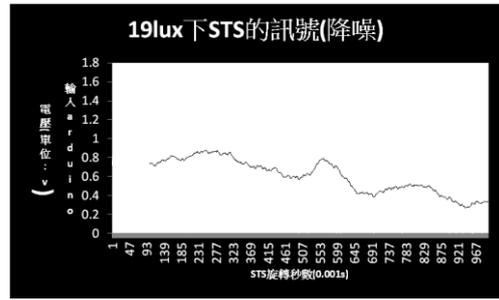
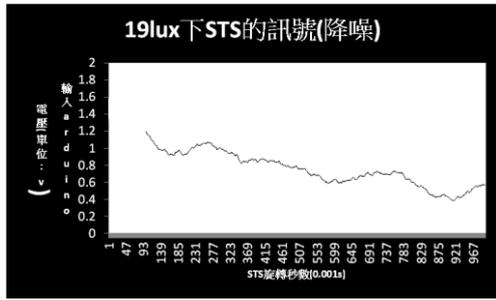
21LUX 下 STS 訊號



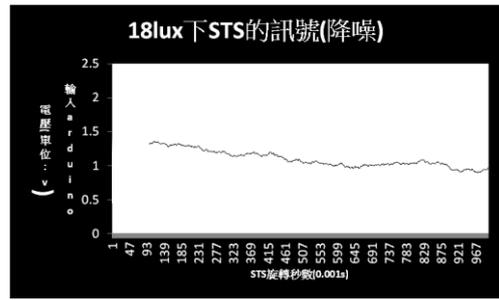
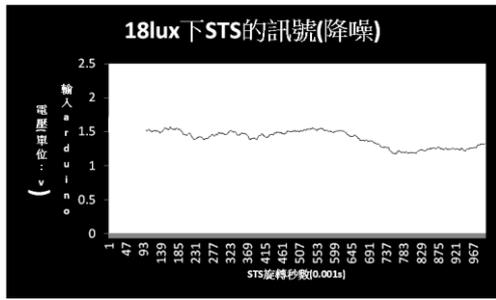
20LUX 下 STS 訊號



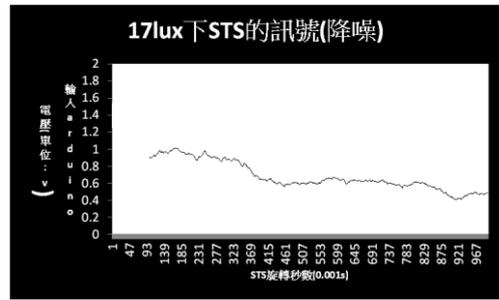
19LUX 下 STS 訊號

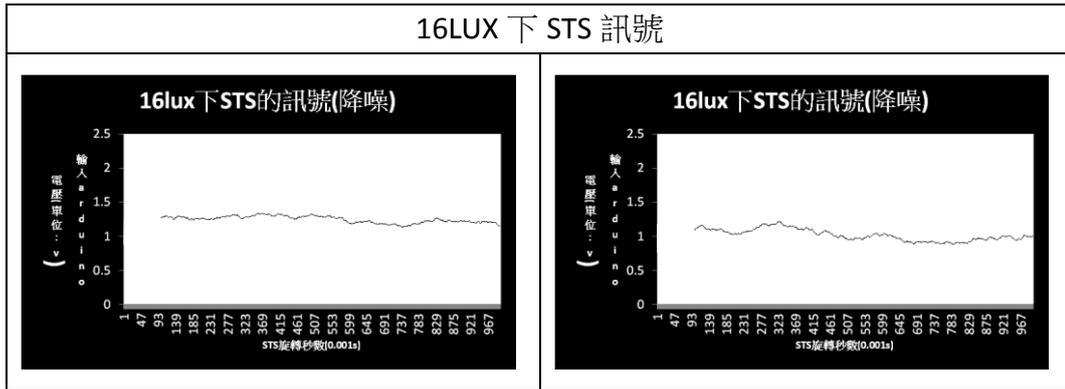


18LUX 下 STS 訊號

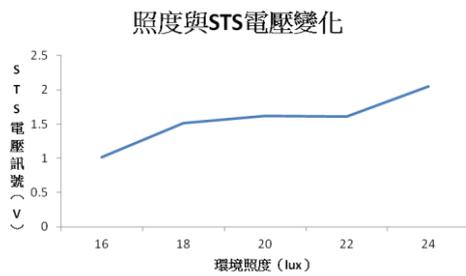


17LUX 下 STS 訊號



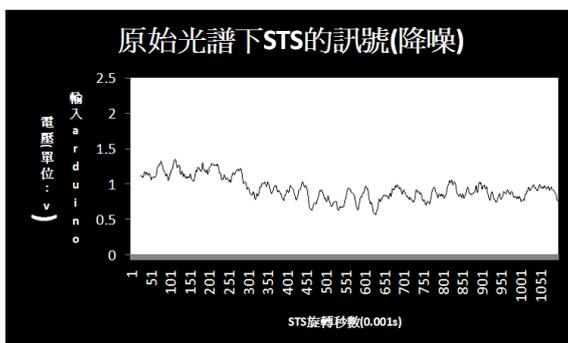
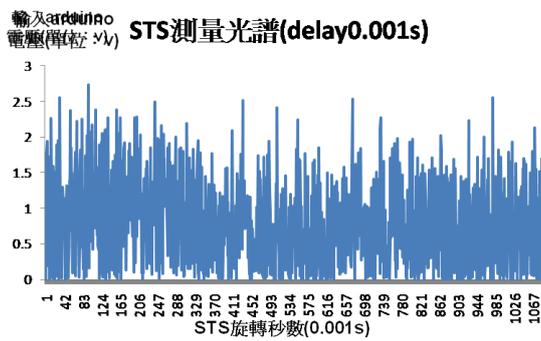


歸納後，環境照度與 STS 電壓變化平均：

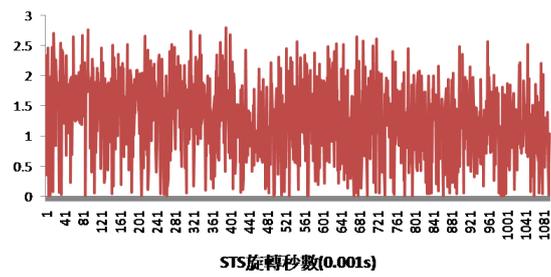


(三) 農藥光譜檢測

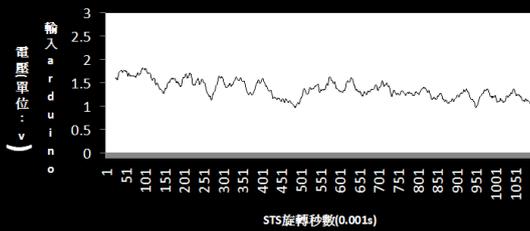
1. 以 STS 測量白熾燈光譜(以下稱原始光譜)



輸入arduino
電壓(單位: v) STS測量光譜(delay0.53625s)

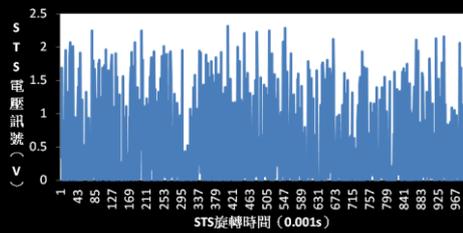


原始光譜下STS的訊號
(delay0.53625s降噪)

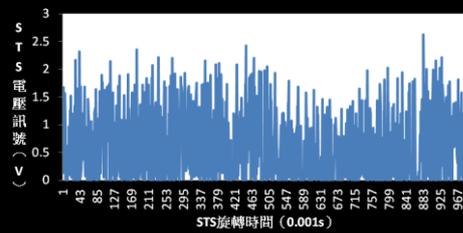


2. 農藥光譜檢測

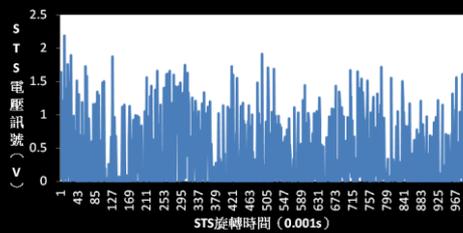
護粒松稀釋5000倍光譜 (未降噪)



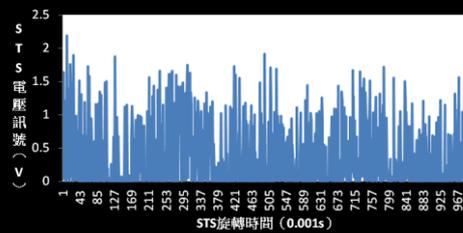
護粒松稀釋5000倍光譜 (未降噪)



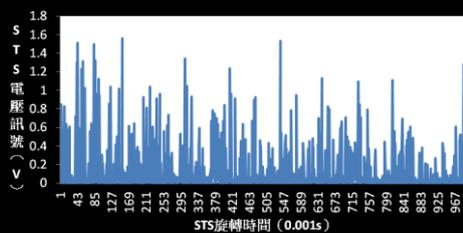
護粒松稀釋7500倍光譜 (未降噪)



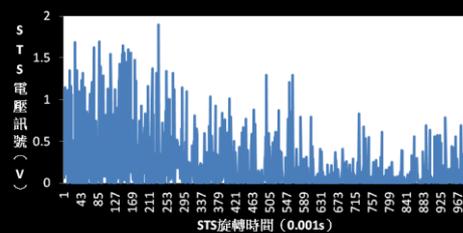
護粒松稀釋7500倍光譜 (未降噪)

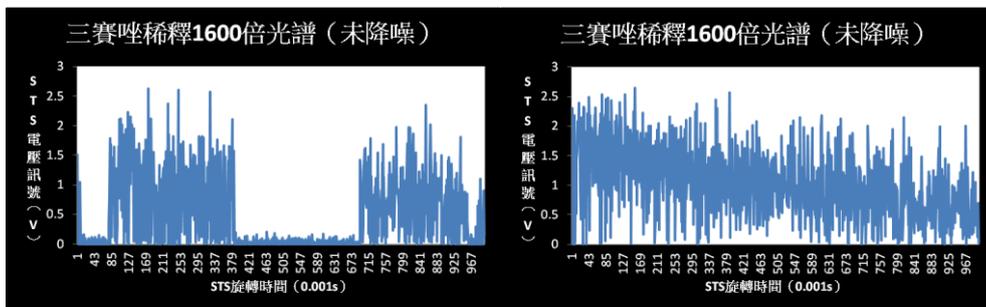
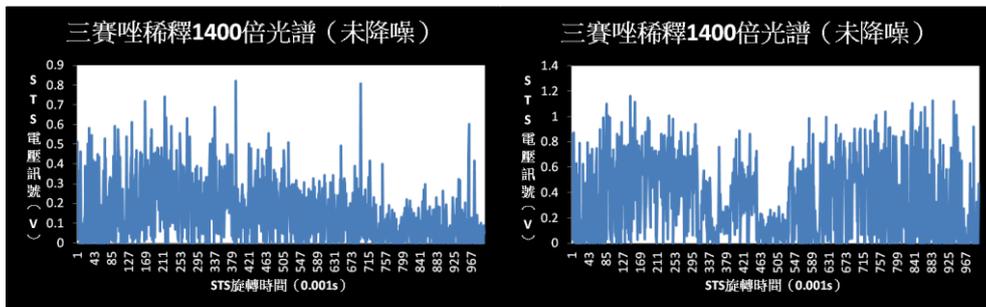
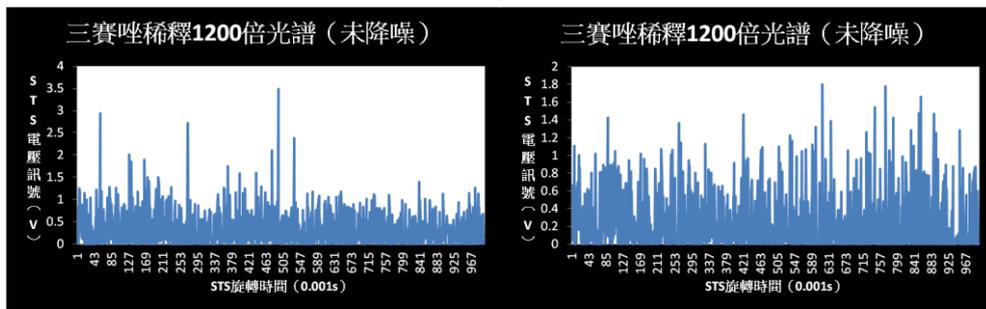
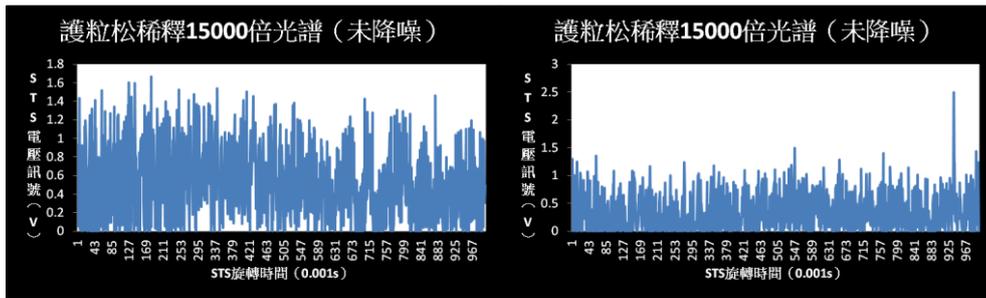
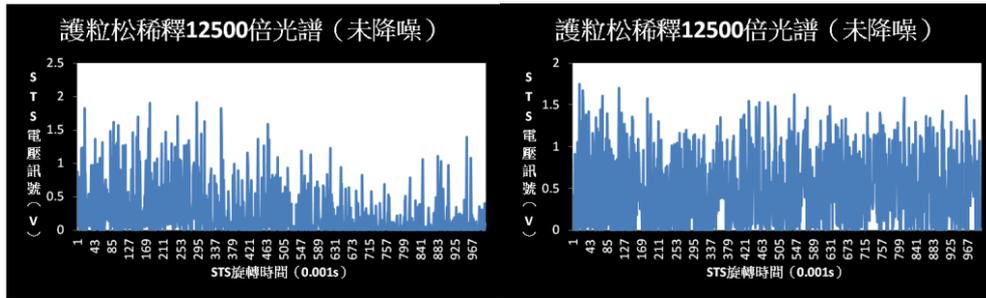


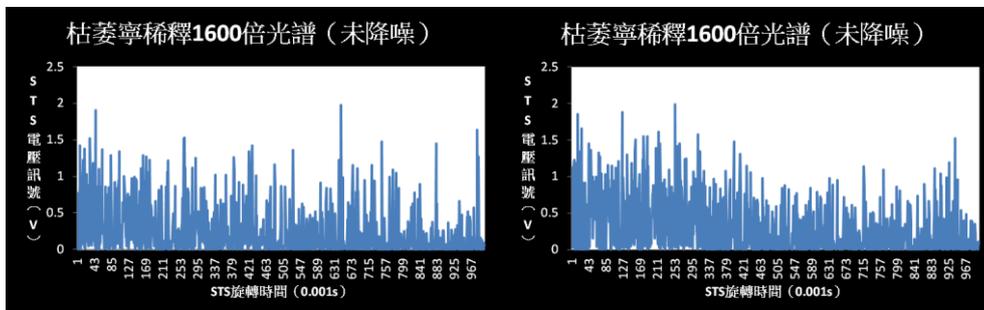
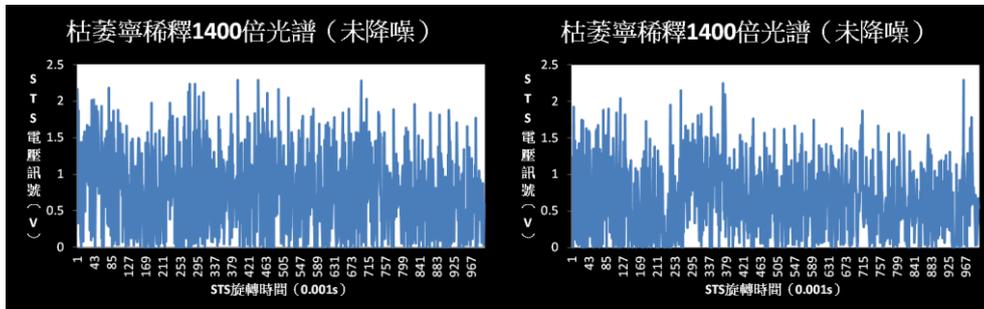
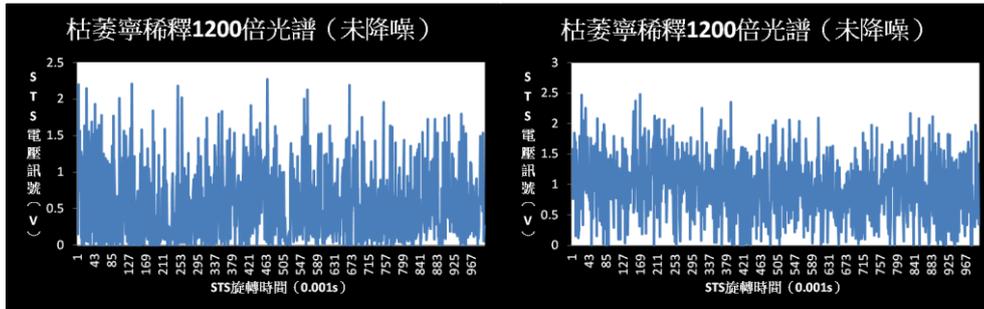
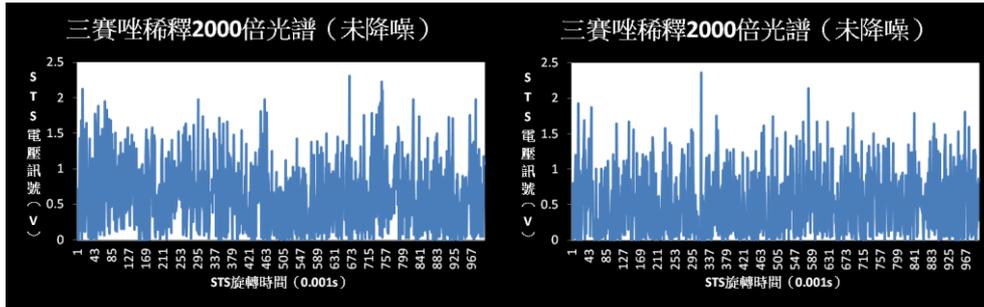
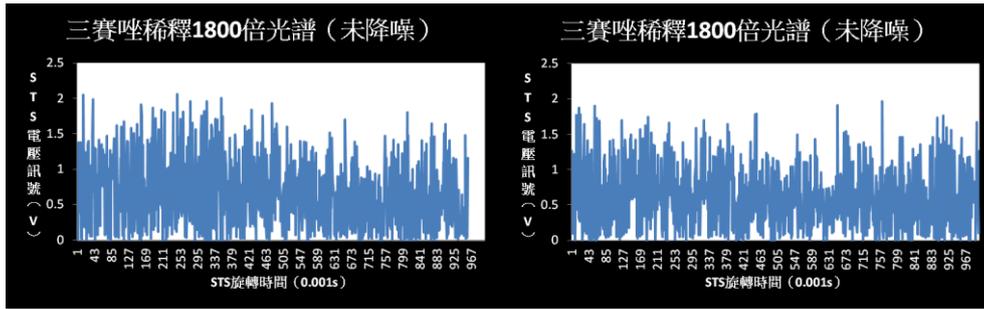
護粒松稀釋10000倍光譜 (未降噪)

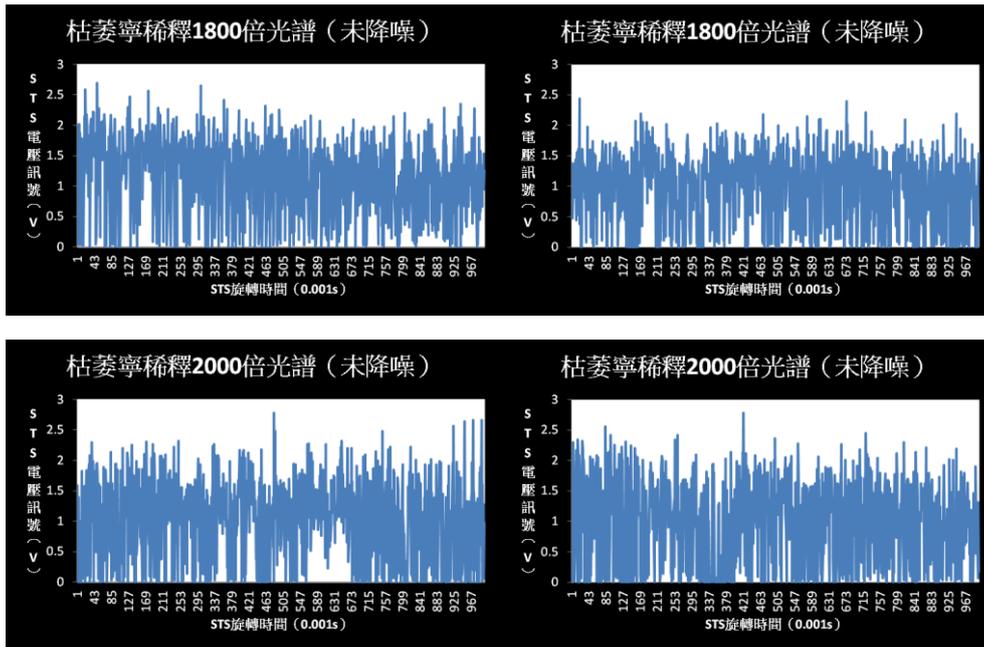


護粒松稀釋10000倍光譜 (未降噪)









陸、討論

(一) 光譜定位及測量位置

1. 色散過程

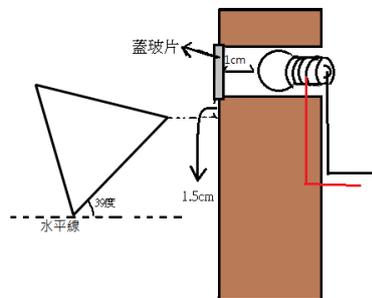
✧ 實驗一之 1-前置作業：光敏電阻對色光(同振幅)的阻值對照
實驗結果中得到的式子

$$y = 3E-14x^6 - 1E-10x^5 + 2E-07x^4 + 0.069x^2 - 16.69x + 1677$$

使得稜鏡的折射率在下一實驗中較容易被測量到。根據計算光譜打在平面上範圍，波長(nm)與距離(mm)比約為 75:2。故在不考慮誤差(和雜訊)的情況下，本研究中採用之平移式解析度僅能測到(較精準到)1mm，光譜的解析度大概也只有 37.5nm。

✧ 實驗一之 2-前置作業：實驗中採用之三稜鏡的折射率測量

圖中為實驗架設位置，可以透過這些距離(稜鏡高約 12cm，燈高約 15cm)計算出三稜鏡折射率約為 1.6。不過三稜鏡折射率在下面的實驗僅供參考。(當燈源固定為白熾燈時，並沒有相當重要)



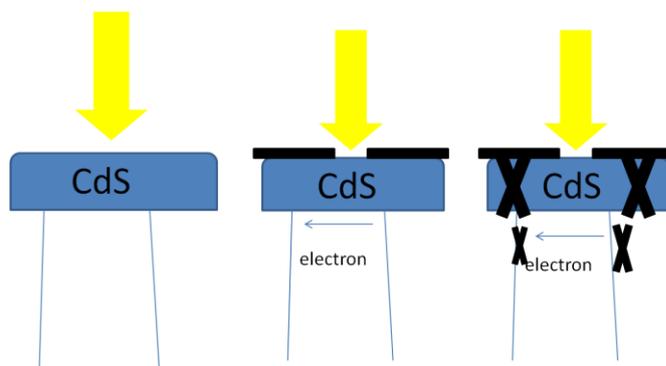
(二) 設計簡易光譜儀

2. 設計簡易光譜儀感測系統

✧ 實驗二之 1：光敏電阻照光面積與阻值關係

此實驗的目的僅是確認在當光敏電阻照光面積減少的时候，是否能用

能量(照度乘面積)的概念計算照光能量。
不過「次要」的部分牽涉到一個概念



當光束受到阻擋，不能平均完全分散在光敏電阻表面時，究竟會不會因為遮光的兩側電阻極大而使光敏電阻阻值也極大？

實驗結果顯示，這是不會發生的，仍然可以利用照度換算能量的概念，得知光敏電阻接收多少光能，這樣的結果讓我們可以利用遮光，將原本需積分一顆光敏電阻照光的能量，範圍縮小，變相提高精細度。

☆ 實驗二之 2：以平移系統紀錄光譜

以平移系統記錄光譜，由於解析度差(記錄間隔也較長)，使雜訊不明顯。若令解析度 I_r ，系統本身雜訊 N_n ，但測量時讀到的雜訊 N_o 會是

I_r/N_n 的餘數。 $\frac{I_r - N_o}{N_n} \in N$ (N 代表自然數，雜訊會是該條件下的最小值)

☆ 實驗二之 3：以平移系統記錄不同濃度的糖水光譜

從單位為電阻的譜圖中可以看出當濃度愈高，吸光度愈高。

根據計算，在忽略折射的情況下，吸收率(absorptivity)會直接等於 $(S-CA)$ 其中 S 為被照射體積， C 為溶質的係數， A 為溶解量



從 STS 降噪後的光譜可看出 NaCl 光譜一些較仔細的部分。

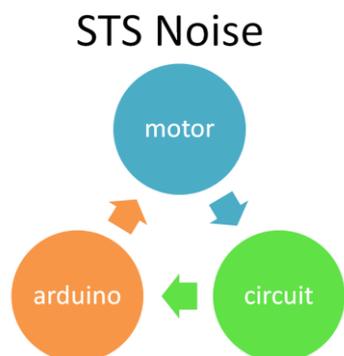
☆ 實驗二之 4：以平移系統記錄不同濃度的鹽水光譜

同實驗二之 3 的討論

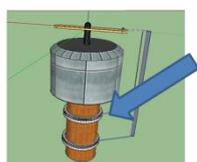
☆ 實驗二之 5-前置作業：S4A 紀錄秒數的準確性

由於 S4A 對時間測量的準確性欠佳，後續實驗接以 arduino 開發環境 Serial Monitor 記錄及測量

- ✧ 實驗二之 7：STS 系統雜訊測量
系統雜訊部分，可以分為三個面向



1. 馬達，在 STS 中馬達部分的接觸不良，可能是引起雜訊的原因



2. Arduino，arduino 本身的訊息會有些噪音(noise)，造成記錄時候的問題。為此本實驗測量雜訊的目的就是希望將雜訊當成背景值。或是得犧牲解析度，提高精確度(電壓的精確度，即降噪的一種方式)。
3. 線路，接線不穩等，可能造成雜訊的產生。不過比對之下，arduino 系統引起的問題較大，可能讓線路的雜訊不明顯。

- ✧ 實驗二之 8：照度變化下 STS 阻值變化
為確定 STS 的確有測量準確性，本實驗提高照度看 STS 電壓訊號是否上升，若是則可初步推斷其相關性。
在有了照度變化後，便能將照度值換算為能量。光敏電阻地受光面積約為 $4\pi \text{ mm}^2$ ，透過 $\text{Lux}=1/863\text{W/m}^2$ 進行能量換算，若再透過 $E=h\nu$ ，便能了解其光波長、其光譜。

(三)農藥光譜檢測

- ✧ 實驗三之 1：以 STS 測量白熾燈光譜(以下稱原始光譜)
根據推算(根據實驗<實驗中採用之三稜鏡的折射率測量>)，白熾燈打在平面上的環狀光譜半徑約 10.25cm
- ✧ 實驗三之 2：農藥光譜檢測
光譜檢測中有些資料不能夠採用，由於其 Standard Area 過大。
整體來講 STS 打出的光譜部分是具參考性的，不過解析度愈高，精確度的風險會相對提高。
不過用來檢測洗米水可以看到一些譜線，比對枯萎寧與護粒松，可以看到洗米水的譜圖有部分與護粒松、枯萎寧皆不相似(亮線、暗線)。

由結果看來待測溶液濃度越高，吸收度愈高，但不一定呈現線性關係。



柒、結論

- 1.從物理角度來看，以光敏電阻(這類訊號對色光有明顯變化的元件)作為感測元件可使譜圖在解讀時以六次函數呈現。
- 2.STS 打出來的光譜可透過篩選、平均變化降噪。正常情況下具有一定可信度。(多次結果譜圖相近)
- 3.待測溶液濃度越高，吸收度愈高，但不一定呈現線性關係。
- 4.可能增加簡易光譜儀解析度的方法：
 - (1)利用遮光方式將感光元件感光區域縮小
 - (2)利用 STS 並控制轉速

捌、參考資料、文獻

- 1.< SAPO-34 之微波合成與 CoAPO、CuO CeO₂ 之 X 光吸收光譜分析>，張志強，民國 89 年 6 月。
- 2.< 15KeV H³⁺ 離子撞擊含 CO 及 CH 鍵化合物與水不同比例之冰晶產生 CO,CO₂,CH₃OH 的 FTIR 光譜分析>，邱振寧，民國 100 年 3 月。
- 3.< Spectral Analysis of Narrow Resonances and Responses of Divalent Atoms in DC Electric Field>，羅仁佑，民國 99 年 6 月。
- 4.< 以光學頻譜分析定性及定量廢水水質特性之研究>，廖憶華，民國 95 年 7 月。
- 5.< 利用放射光譜分析法監測電感式氯氣電漿蝕刻多晶矽過程之動態變化>，賴志誠，民國 96 年 1 月。
- 6.< 高密度全像光柵用於光譜分析之研究>，溫育詮，93 年 7 月。
- 7.< 電感耦合式電漿輔助化學氣相沉積系統中奈米碳管的成長與臨場後處理及拉曼光譜分析>，翁政輝，民國 93 年 7 月。
- 8.< 碳質物的拉曼光譜分析及其應用-以臺灣東部太麻里溪及其支流為例>，翁熙甯，民國 101 年 7 月。
- 9.< 離子對雙親分子/雙十六碳鏈陰離子型界面活性劑/膽固醇之混合 Langmuir 單分子層行為的反射吸收式紅外光譜分析>，張曉明，民國 101 年 6 月。

【評語】 030103

1. 這是一個很有意思的題目。作者也提出了一個很可行的方法。
唯應提出一個確認農藥的方法，才能夠準確的判斷。
2. 建議實驗設計可以更細微會更佳。
3. 簡單實用的裝置，也印證了此裝置的可行性。在偵測精確度的
校準上可再多下功夫。
4. 自行設計的 STS 要充分說明，使他人了解。