

中華民國第 57 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 物理科

最佳創意獎

030121

雷神索爾之電光一閃-探討材質、合金功函數對
電弧、光譜的影響與農藥簡易檢測應用

學校名稱：雲林縣立斗六國民中學

作者： 國二 蘇品榕 國二 賴亭佑 國二 石采蓁	指導老師： 丁崇祺 何玉月
---	-----------------------------

關鍵詞：功函數、光譜、離子蝕刻

摘要

本實驗先針對材質功函數與電弧狀態的關係進行研究，進而研究合金比例與功函數的關係，最後進行電解質、水果、豬肉以及農藥辨識分析，結果如下：

一、材質功函數與粗細：

- 1、功函數與電弧最大距離有負相關，但金屬的表面氧化會讓功函數變小。
- 2、合金比例所乘出的功函數對應的電弧最大距離與實際值接近。
- 3、直徑 8~12mm 的避雷針效果最差。

二、應用

- 1、發現電解質濃度越大電弧中紫色光點越多。
- 2、水果電弧偏紫紅，其中柑橘類與香蕉的顏色偏淡，可能是香蕉與柑橘類含的鈉離子較高。
也發現果皮灰度值 \geq 果肉的水果及灰度值大於豬肉的豬皮電弧顏色會偏紫紅。
- 3、農藥與非農藥可由波峰在波長 500~520nm 與偏藍光光譜來分辨。

壹、研究動機

在課堂上看到學長姐展示上屆科展的電弧裝置，隨著他們針對不同的水果電擊而產生不同顏色且閃亮炫麗的電弧，畫面深深的刻印在我們的腦海中，令我們有想馬上對電弧做實驗的強烈動機。了解之前學長姐科展的內容，主要是針對導電體的金屬材質、距離以及形狀對電弧的影響及針對蔬果來做離子蝕刻，研究中有一部分他們發現在不同的金屬以及蔬果都有不同顏色的電弧，但只是就顏色來探討，並沒有深入討論；另外有一個實驗是針對材質的電阻率對電弧的影響，結果卻是一個沒有關係的圖形，教授有提到可能是與功函數有關。於是我們這次想完成學長姐在上屆科展尚未完成實驗的遺憾，延續研究他們有問題及未深入探討的實驗。

貳、研究目的

性質探討：

- 1、探討不同純物質導體功函數對電弧狀態、最大距離及光譜分析。
- 2、探討合金金屬比例與粗細對電弧狀態、最大距離及光譜分析。

應用：

- 3、針對不同濃度的電解質溶液電擊後電弧狀態以及光譜分析。
- 4、探討高壓電弧對水果、豬肉離子蝕刻後的電弧狀態與光譜分析。
- 5、利用高壓電弧針對蔬菜利用離子蝕刻的光譜分析判斷其農藥殘留的有無。

參、研究器材

器材：

程式：Image J and CURA

鉗型三用電表 	金屬棒 	網路攝影機 	手機光譜儀 
光學桌板 	自製電弧座(3D 列印) 	電弧產生器 	游標尺 

藥品與材質

農藥 	各式水果 	鹽酸 	氫氧化鈉 
碳酸氫鈉 	氯化銨 	氯化鈉 	芹菜 

肆、研究過程或方法

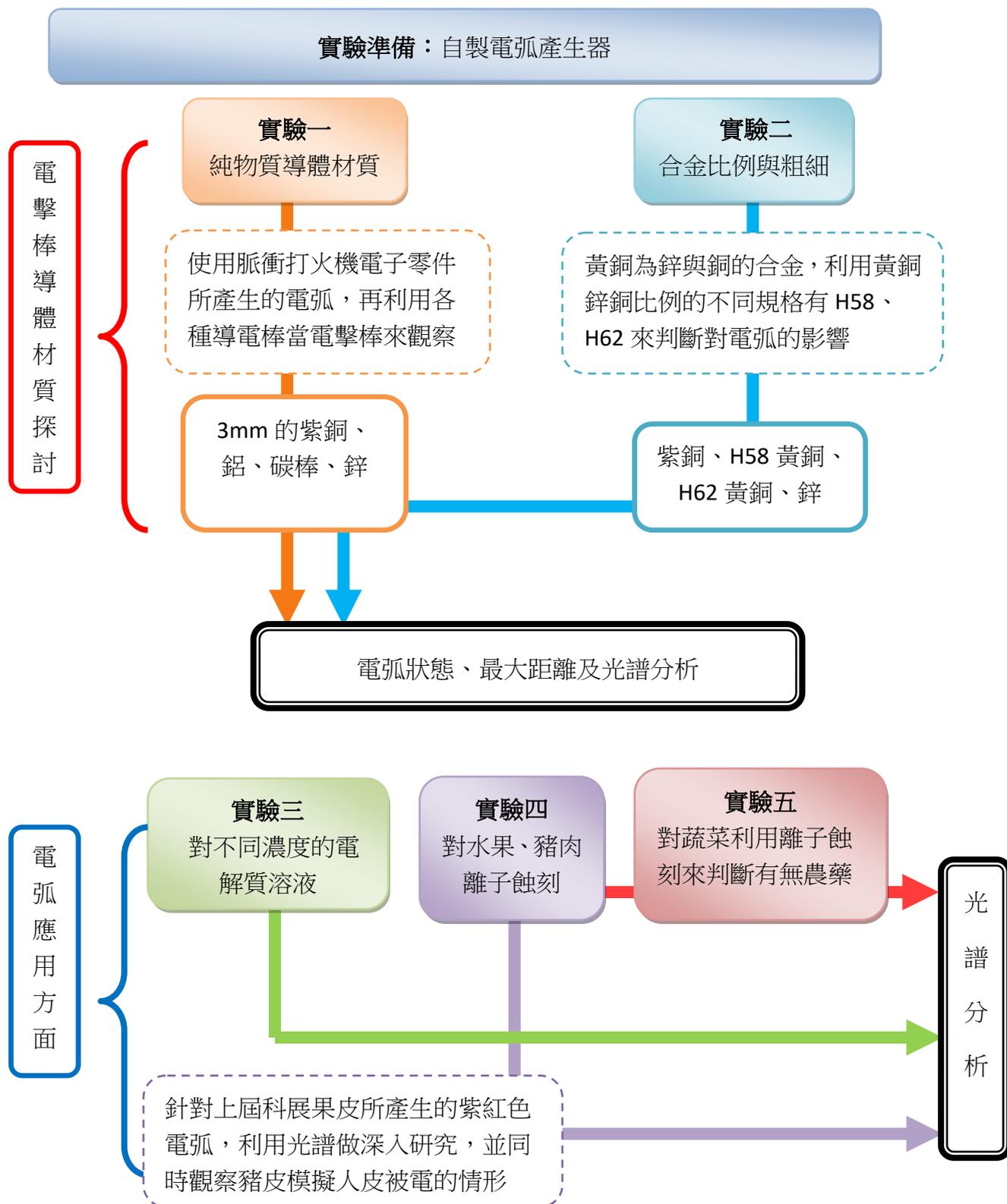


圖1 研究架構圖

實驗原理：

在之前全國賽時，學長姐在一開始實驗誤以為電弧最大距離與電阻有關係，但做完實驗發現有不規則的情形，因此判斷電阻與電弧最大距離沒有相關性。而在口試的過程中有教授提出可能與功函數有關，因此後續的實驗來判斷功函數是否與電弧最大距離有關。

功函數是指要使一粒電子立即從固體表面中逸出，所必須提供的最小能量，在光電效應中如果一個擁有能量比功函數大的光子被照射到金屬上，則光電發射將會發生。任何超出的能量將以動能形式給予電子。(維基百科, 2016)

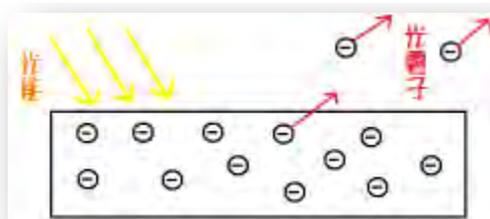


圖 2 光電效應示意圖

在接下來的實驗利用手機光譜儀將電弧分光後，以 Image J 程式分析光譜。而光學頻譜，簡稱光譜，是複色光通過色散系統（如光柵、稜鏡）進行分光後，依照光的波長（或頻率）的大小順次排列形成的圖案。(維基百科, 2016)

實驗準備：

首先利用 3D 列印機製作電弧主架(如右圖 3)，因為上次科展時，電弧裝置雖然是可移動，但是是由 ABS 板來製作，長期滑動的情形下，ABS 板容易歪掉進而損毀，所以改用軟木塞當支撐電極的部分。主架列印一半時剛好失敗，但失敗卻又代表了成功，主要是因為印一半才能由開口處將軟木塞順利的塞入，如果印滿就無法塞入了。



圖 3 電弧主架

接下來想讓觀察光譜簡易化，於是想利用光學桌板組合攝影機在電腦上即時判讀光譜(如右圖 4)，但卻因為電弧太暗，而無法在攝影機顯示，因此作罷，所以只好將光學平台製作回原來手機使用的光譜儀支架，由下面兩片小板讓手機能平穩置放，也調整手機拍照處而容易觀察並拍攝光譜。



圖 4 光譜儀手機置放架

實驗步驟：

實驗1 探討不同導體材質的功函數與對電弧狀態、最大距離的關係以及光譜分析

- 1、將直徑 3mm，長度 10cm 的紫銅圓棒接在電弧產生器負極。
- 2、正極分別接上同樣直徑 3mm，長度 10cm 的紫銅、鋁、鋅、碳棒，並將兩極之間的距離做調整，蓋上 pp 桶後開啟開關，暖機 30 秒後，測量該材質的最大距離。
- 3、停止實驗後，將兩極之間的距離調整為 2cm，再次蓋上 pp 桶後開啟開關，使用鉗型三用電表在電極兩端測量電弧頻率及電流大小。
- 4、停止實驗後開啟電弧，以手機拍攝電弧狀態，及用手機光譜儀拍攝光譜。再利用 Image J 來分析光譜。

因為發現純銅與黃銅之間的電弧有明顯的差異，再加上前屆科展只是上網購買黃銅，並不清楚其金屬成分比例，可能是造成金屬電阻率對電弧沒有明顯的趨勢之故(因為所查的金屬電阻率本身就有問題)，所以這次選擇鋅以及紫銅(接近純銅)，加上兩種不同比例的黃銅合金來做。

實驗2 探討合金比例與粗細對電弧狀態、最大距離、功函數的影響及光譜分析

2-1 不同合金比例對電弧狀態、最大距離、功函數的影響與光譜分析

- 1、將直徑 3mm，長度 10cm 的紫銅圓棒接在電弧產生器負極。
- 2、正極分別接上直徑 3mm，長度 10cm 的鋅、紫銅以及不同比例的黃銅，並將兩極之間的距離做調整，以測量該材質的最大距離。
(鋅、黃銅 H58、黃銅 H62、紫銅)
- 3、重複實驗一步驟 3 至 4，並記錄結果。

2-2 合金粗細對電弧狀態、最大距離以及光譜分析

- 1、將鋅更改直徑為 8、12mm，紫銅以及黃銅 H58 與黃銅 H62，更改直徑 6、8、12、18mm，重複實驗 2-1 步驟 1 至 3，觀察並記錄。

實驗3 探討電弧電擊不同濃度的溶液電弧狀態以及光譜分析

- 1、將直徑 3mm，長度 10cm 的紫銅圓棒接在電弧產生器負極。

- 2、將海綿裁切成塊狀，以便沾附離子化合物水溶液。
- 3、配置五種不同濃度的（鹽酸、氯化銨、氯化鈉、碳酸氫鈉、氫氧化鈉）電解質水溶液，加入海綿上，並以正極的鱷魚夾夾住。
- 4、以手機拍攝電弧狀態，及用手機光譜儀拍攝光譜，再利用 Image J 來分析光譜。

實驗4 探討高壓電弧對水果、豬肉離子蝕刻後的電弧狀態與光譜分析

4-1 探討高壓電弧對水果離子蝕刻後的電弧狀態與光譜分析

- 1、將直徑3mm，長度10cm的紫銅圓棒接在電弧產生器負極。
- 2、先將待測水果皮肉分開，將正極接上直徑3mm，長度10cm的紫銅圓棒，並插入待測完整水果內（水蜜桃、西洋梨、茂谷、香蕉、檸檬、蘋果、蓮霧）。
- 3、將待測水果離負極約1cm，通電約一分鐘，以手機拍攝電弧狀態，利用手機光譜儀拍攝光譜。並利用Image J來分析光譜。
- 4、再分別以正極接上水果的表皮及削皮後的果肉，比較表皮與果肉的差異性。

4-2 探討高壓電弧對豬肉離子蝕刻後的電弧狀態與光譜分析

- 1、將直徑3mm，長度10cm的紫銅圓棒接在電弧產生器正極。
- 2、將正極插入待測豬皮內。
- 3、將負極接上直徑3mm，長度10cm的紫銅圓棒，並離待測豬皮約1cm。
- 4、通電約一分鐘，觀察表皮狀況並拍照。以手機光譜儀進行拍攝光譜，再利用Image J來分析光譜。
- 5、在正極接上豬肉來比較豬皮與豬肉的差異性。

實驗5 針對蔬菜利用離子蝕刻的光譜判斷其農藥殘留的有無

- 1、將直徑3mm，長度10cm的紫銅圓棒接在電弧產生器正極。
- 2、將正極插入待測農藥蔬菜內。
- 3、將負極接上直徑3mm，長度10cm的紫銅圓棒，並離待測農藥蔬菜約1cm。
- 4、通電約一分鐘，觀察表皮狀況並拍照，以手機光譜儀拍攝光譜。再利用Image J來分析光譜。
- 5、重複步驟1至4，對無農藥蔬菜檢測光譜。

伍、研究結果與討論

實驗前先做手機光譜儀的光譜校正：

利用網路上查到省電燈管所對應的光譜，再自行以光譜儀拍攝省電燈管的光譜來做對照。找出相同的波峰再做線性校正，並找出校正的方程式。

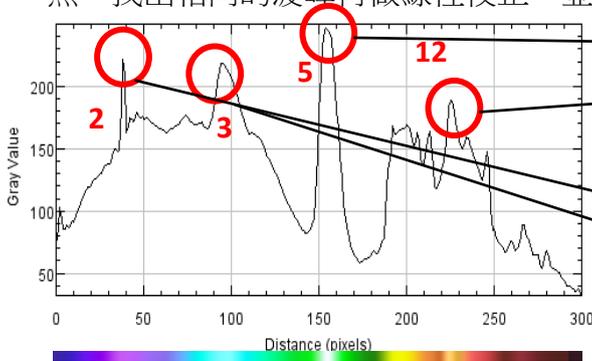


圖 5 自行拍攝省電燈管光譜

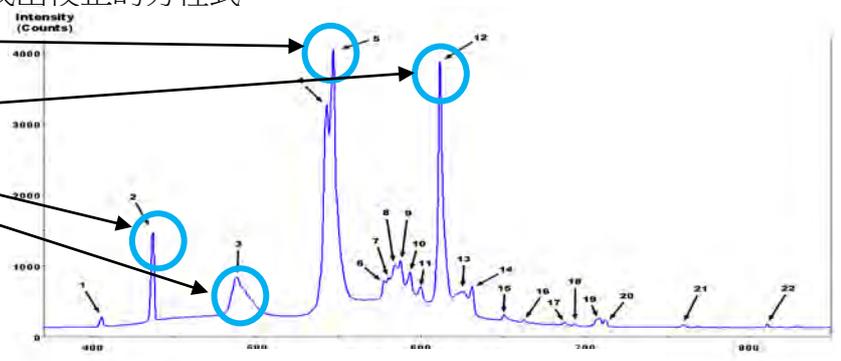


圖 6 省電燈管光譜

Peak number	Wavelength of peak (nm)	Species producing peak	Actual line location (nm)	自己拍攝光譜波長 (nm)
2	436.6	mercury	435.833	38.0
3	487.7	terbium from Tb ³⁺	~485 to 490	95.0
5	546.5	mercury	546.074	154.0
12	611.6	europium in Eu ⁺³ :Y ₂ O ₃	~611	225.0

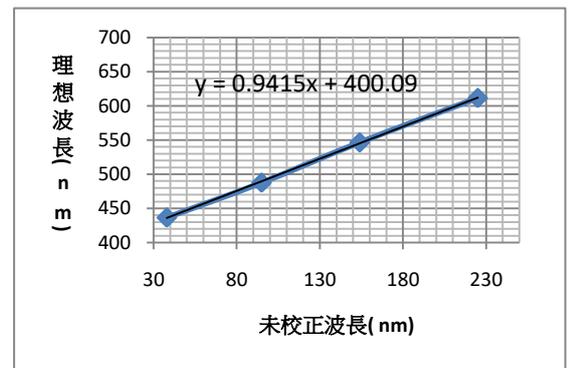


圖 7 光譜校正圖

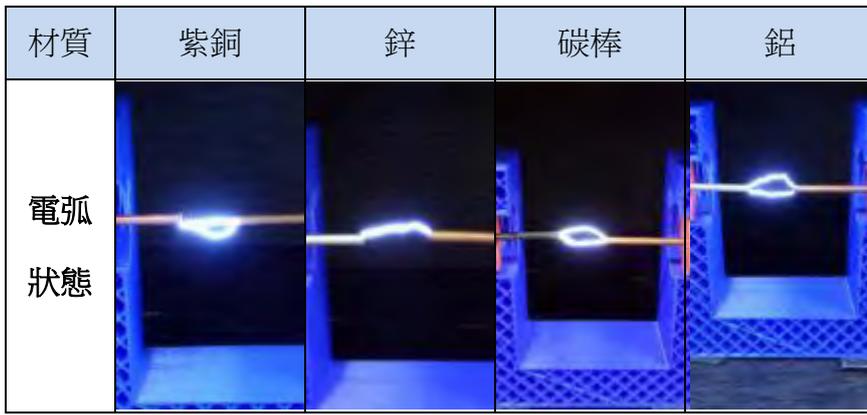
表 1 省電燈管波峰實際波長表(維基百科，Fluorescent lighting spectrum peaks labelled, 2016)

修正光譜的趨勢方程式為 $y = 0.9415X + 400.09$ (x：未修正光譜波長，y：修正光譜波長)，後續光譜都會依此做修正。

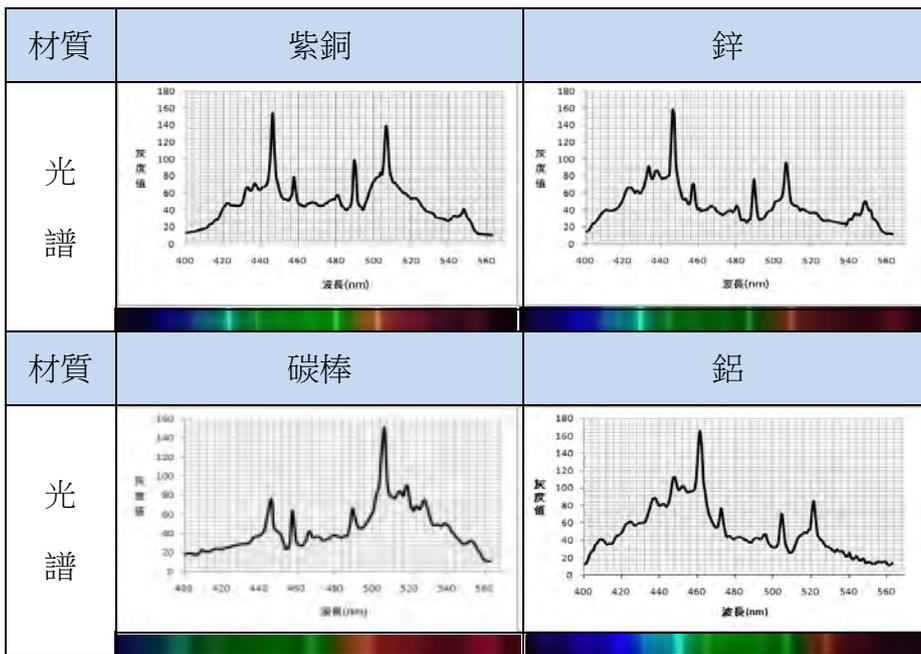
實驗一 不同導體材質的功函數與對電弧狀態、最大距離的關係以及光譜分析

材質功函數對電弧最大距離與電弧狀態的影響

材質	紫銅(3mm)	鋅(3mm)	碳棒(3mm)	鋁(3mm)
功函數	4.65 ev	4.33 ev	5.00 ev	4.28 ev
最大距離	6.10 cm	6.50 cm	5.80 cm	6.35 cm
頻率	20.20 Hz	19.43 Hz	17.64 Hz	20.90 Hz
電流	0.53 A	0.21 A	1.06 A	0.86 A



不同材質光譜的分析



這個實驗主要是因為之前的教授所提出的因素，而上次科展這個部份是屬於沒有結果的結果，所以我們認為可以去了解是否是由功函數來影響電弧。故購買三種純金屬加上碳棒來測量，以廢棄的顯微鏡木箱製作成暗箱，在學校內尋找一間沒有窗戶的暗室，以避免外界光線干擾，再由手機光譜儀拍攝光譜後，以 Image J 分析光譜。

實驗二 合金比例與粗細對電弧狀態、最大距離、功函數的影響及光譜分析

實驗 2-1 不同合金比例對電弧狀態、最大距離、功函數的影響與光譜分析

材質	紫銅(3mm)	黃銅 H58(3mm)	黃銅 H62(3mm)	鋅(3mm)
功函數	4.65 ev	預測功函數 $4.65 \times 0.58 + 4.33 \times 0.42$ $= 4.5156 \text{ ev}$	預測功函數 $4.65 \times 0.62 + 4.33 \times 0.38$ $= 4.5284 \text{ ev}$	4.33 ev
最大距離	6.10 cm	6.30 cm	6.20 cm	6.50 cm
頻率	20.20 Hz	21.82 Hz	18.47 Hz	19.55 Hz
電流	0.53 A	1.15 A	0.80 A	0.22 A

材質	紫銅	黃銅 H62	黃銅 H58	鋅
電弧 狀態				

不同合金比例的光譜分析

材質	紫銅	黃銅 H62
光 譜		
材質	黃銅 H58	鋅
光 譜		

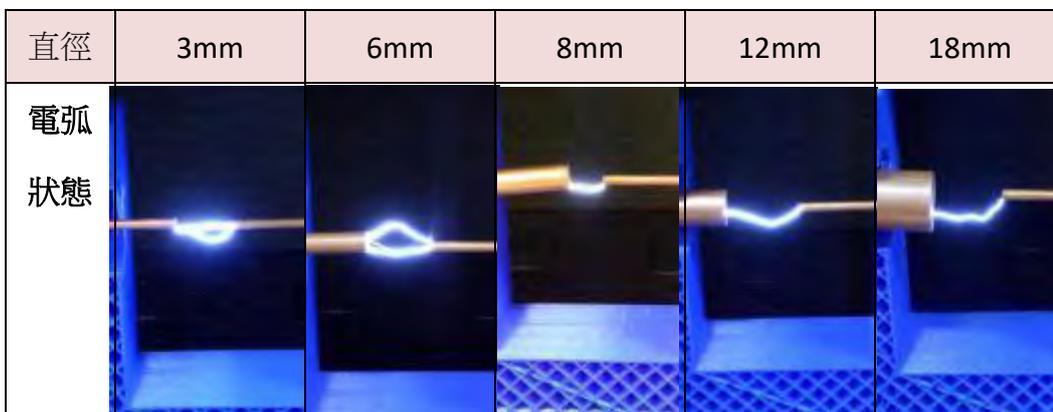
這個實驗是猜測合金比例有可能也會影響功函數，由實驗一可以發現功函數大致與電弧最大距離呈現負相關，我們想利用電弧最大距離來反推合金的功函數，再驗證合金的比例是否相關。同時也想知道合金的比例是否會影響波峰的大小。

實驗 2-2 合金粗細對電弧狀態、最大距離與光譜分析

首先以合金構成的純物質的粗細對照兩種不同比例合金的粗細

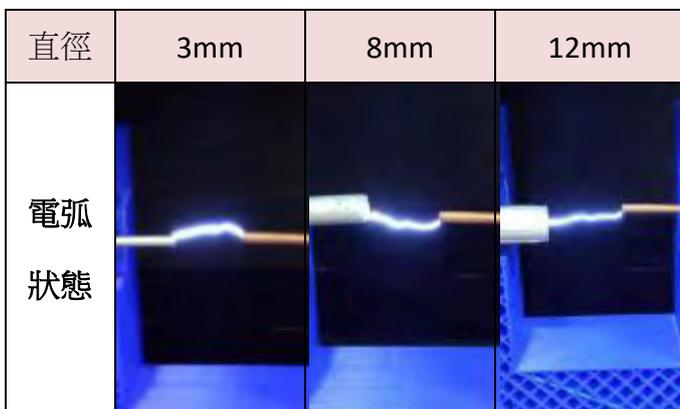
紫銅

材質	3mm	6mm	8mm	12mm	18mm
最大距離	6.10 cm	5.80 cm	5.65 cm	5.60 cm	5.75 cm
頻率	20.20 Hz	20.25 Hz	17.30 Hz	17.66 Hz	17.49 Hz
電流	0.53 A	0.79 A	0.69 A	0.44 A	0.63 A



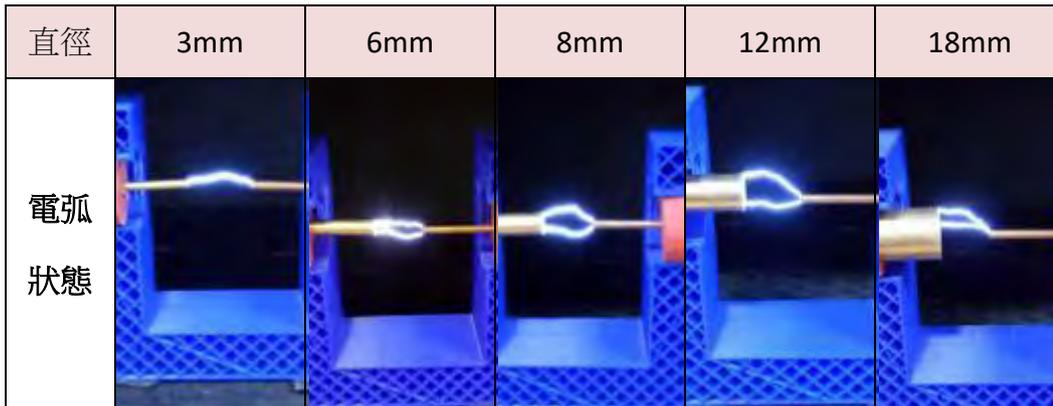
鋅

材質	3mm	8mm	12mm
最大距離	6.50 cm	5.65 cm	5.70 cm
頻率	17.55 Hz	17.31 Hz	17.61 Hz
電流	0.22 A	0.83 A	0.56 A



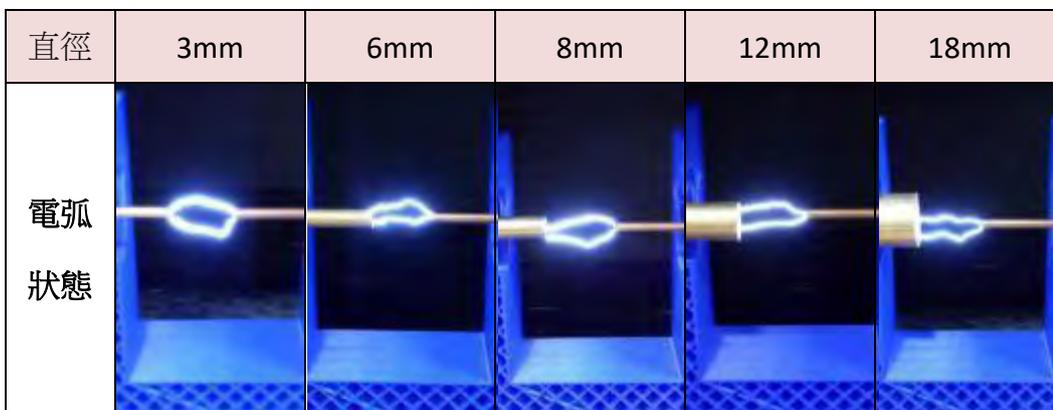
黃銅 H58

直徑	3mm	6mm	8mm	12mm	18mm
最大距離	6.30 cm	5.75 cm	5.65 cm	5.50 cm	5.60 cm
頻率	21.82 Hz	17.74 Hz	17.39 Hz	17.60 Hz	17.50 Hz
電流	1.15 A	0.48 A	0.70 A	0.59 A	0.71 A



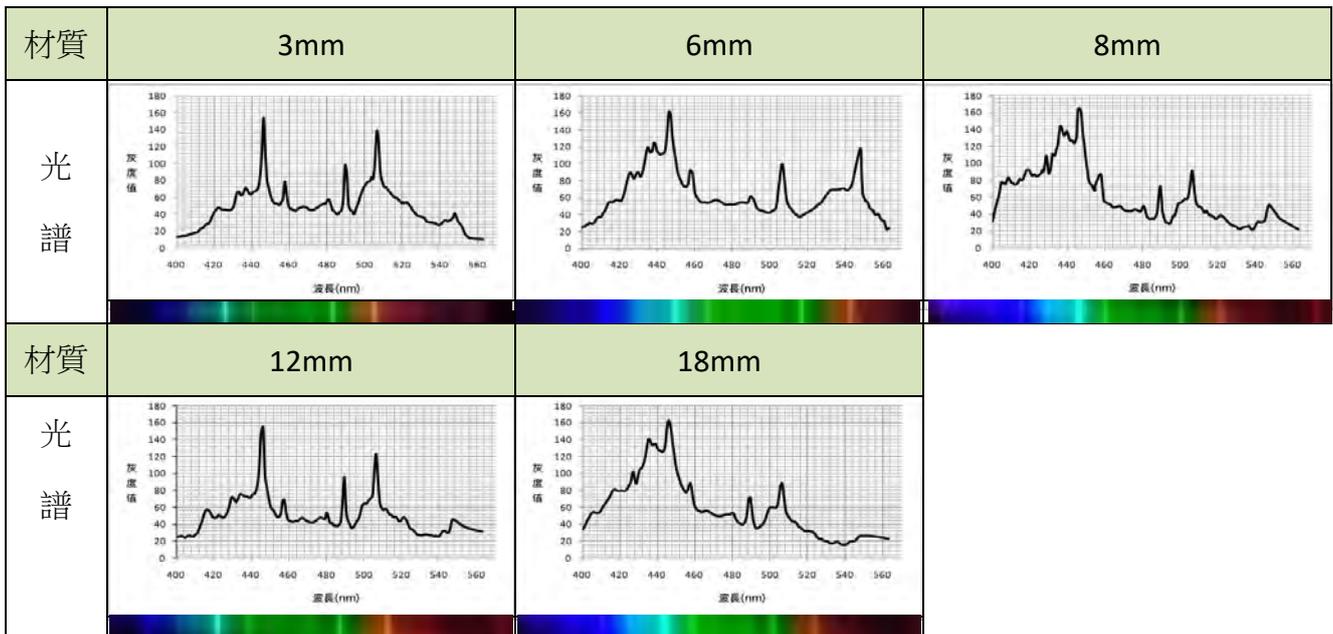
黃銅 H62

直徑	3mm	6mm	8mm	12mm	18mm
最大距離	6.20 cm	5.80 cm	5.65 cm	5.50 cm	5.75 cm
頻率	18.47 Hz	17.39 Hz	17.34 Hz	17.47 Hz	17.53 Hz
電流	0.80 A	0.69 A	0.67 A	0.51 A	0.48 A

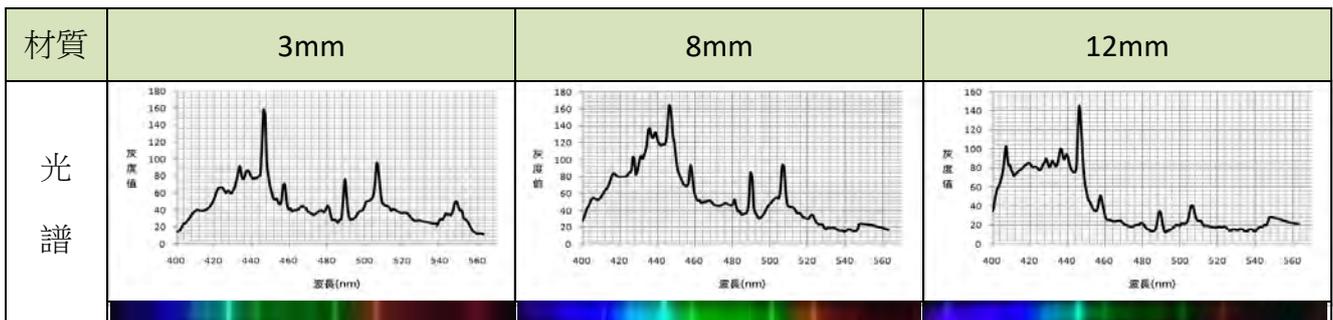


不同粗細的光譜分析

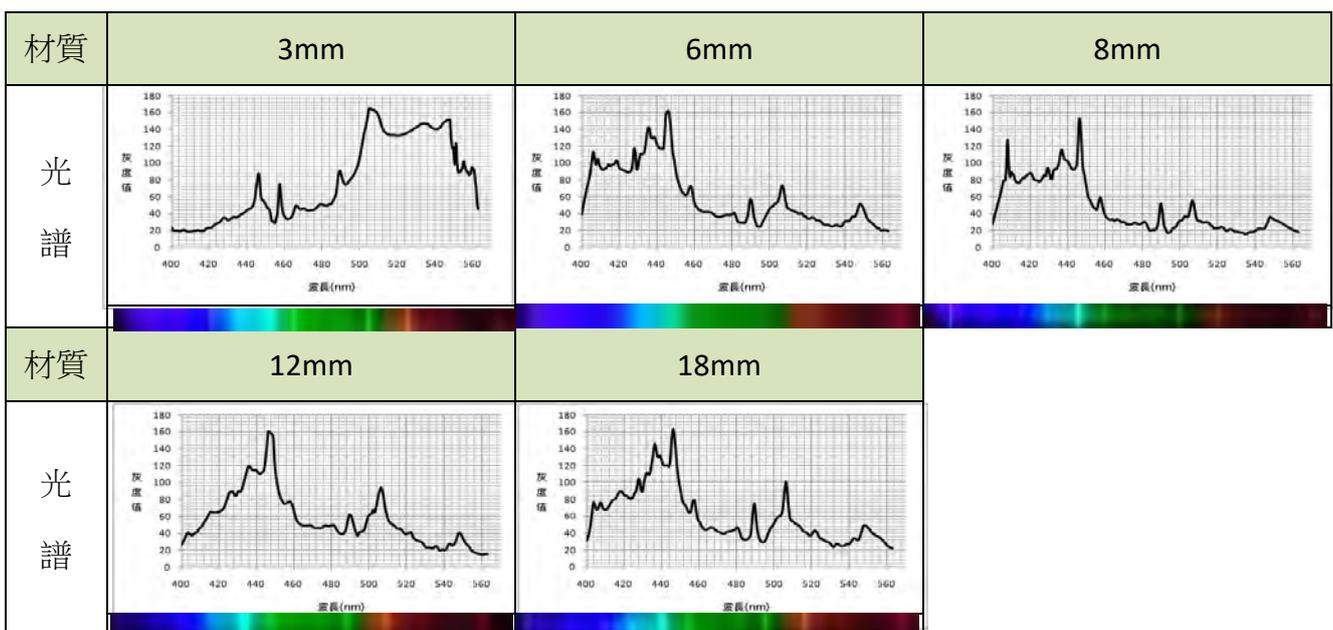
紫銅



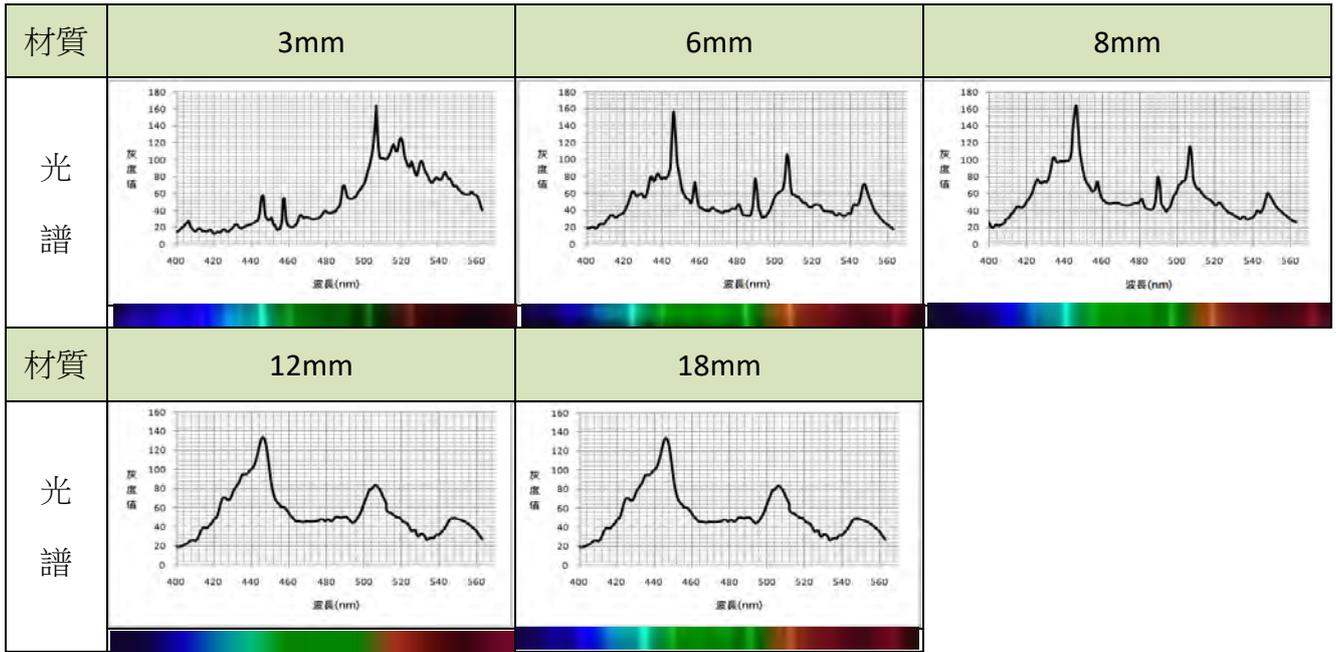
鋅



黃銅 H58



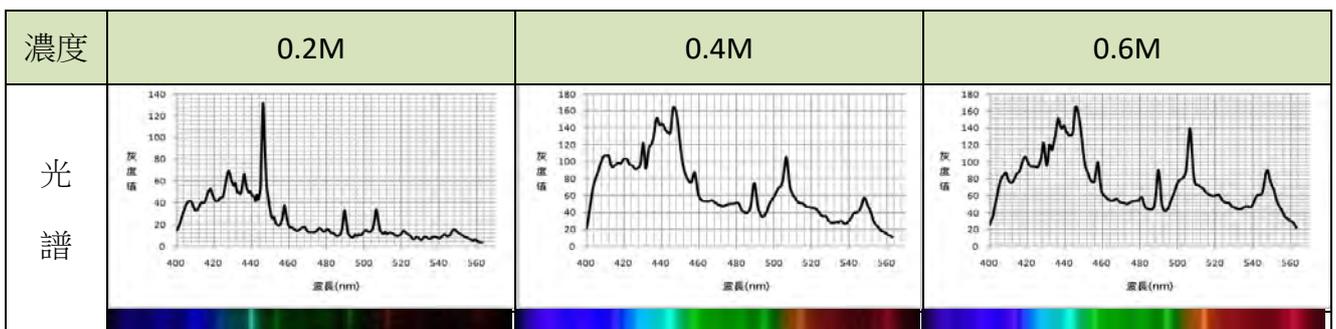
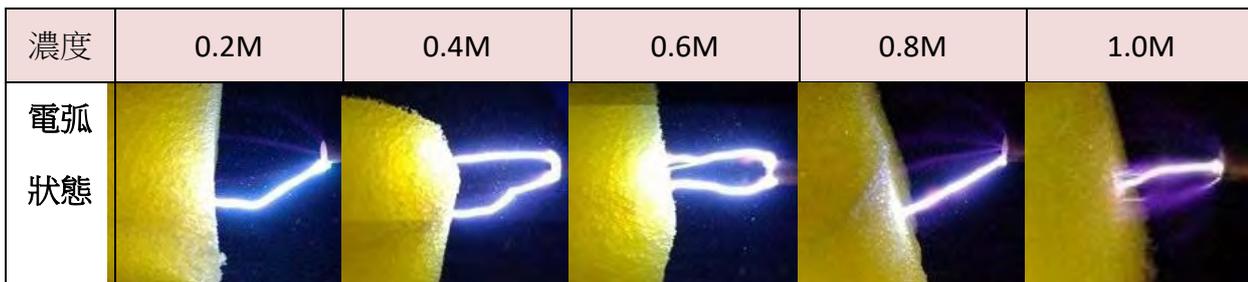
黃銅 H62

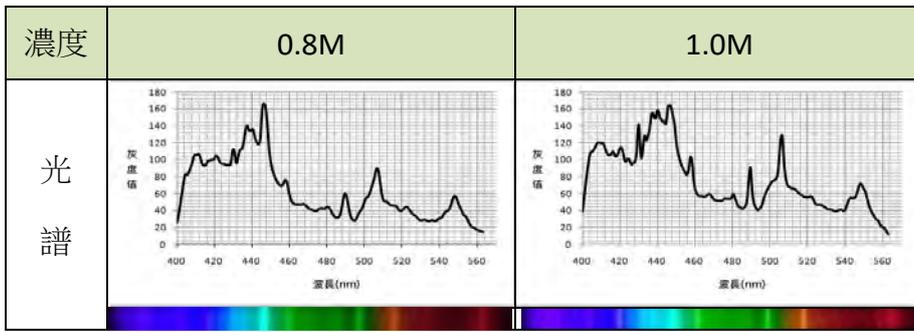


在避雷針的選擇，合金的粗細是否也會影響整個電弧，就尖端放電 (王 & 洪, 2009) 的原理下，照理說越細引電效果越好，但越粗時，電阻越小，似乎也能順利導電，在兩者之間充滿矛盾之處，我們推測在一定的電壓下導電棒的粗細對引電效果可能有一定的界線導致。

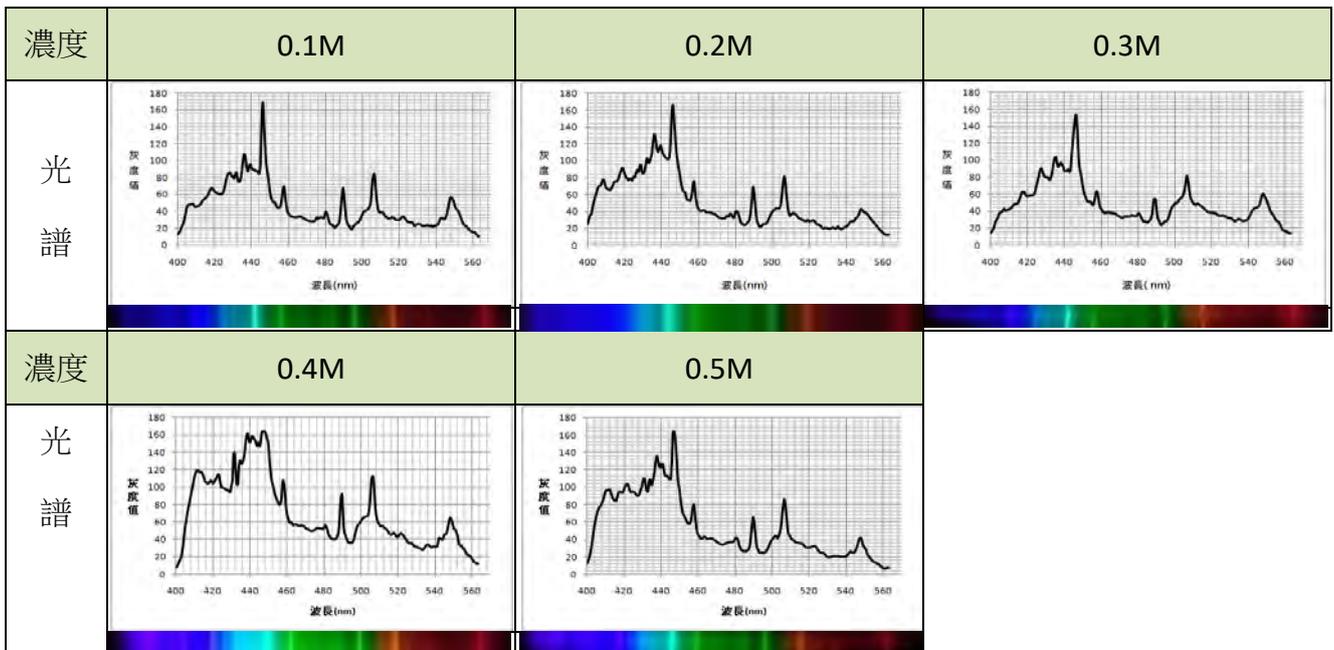
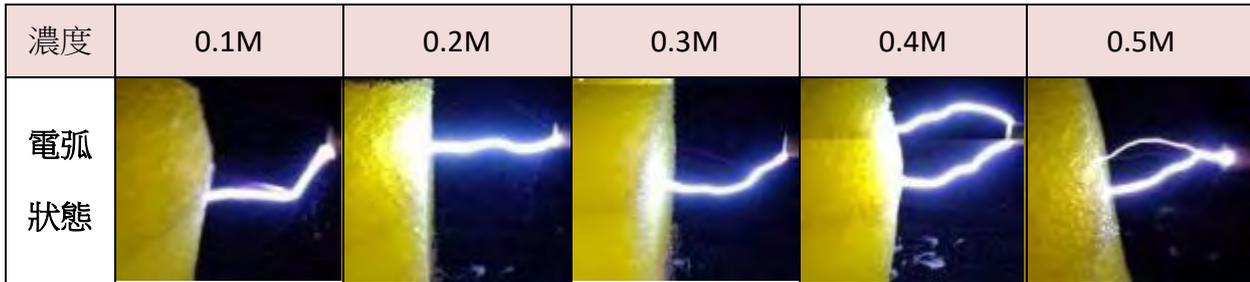
實驗三 針對不同濃度的溶液電擊後電弧狀態以及光譜分析

強酸：HCl

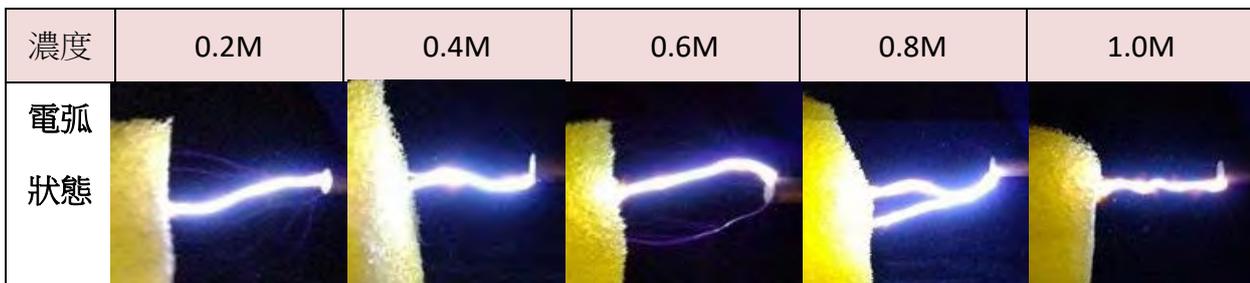


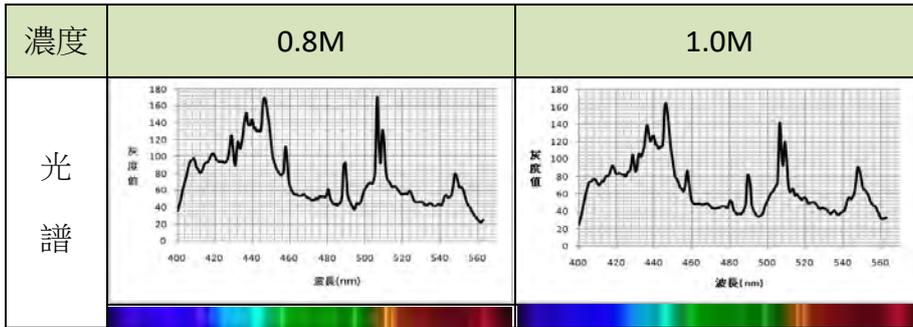
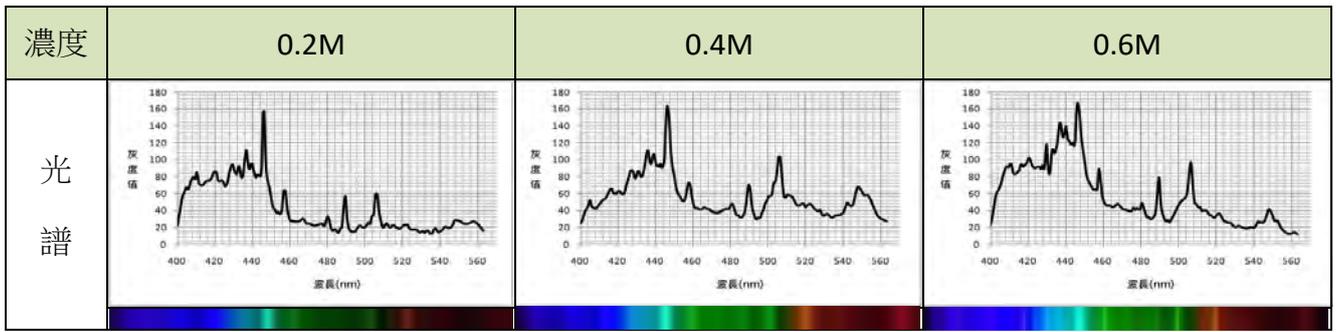


弱酸：NH₄Cl

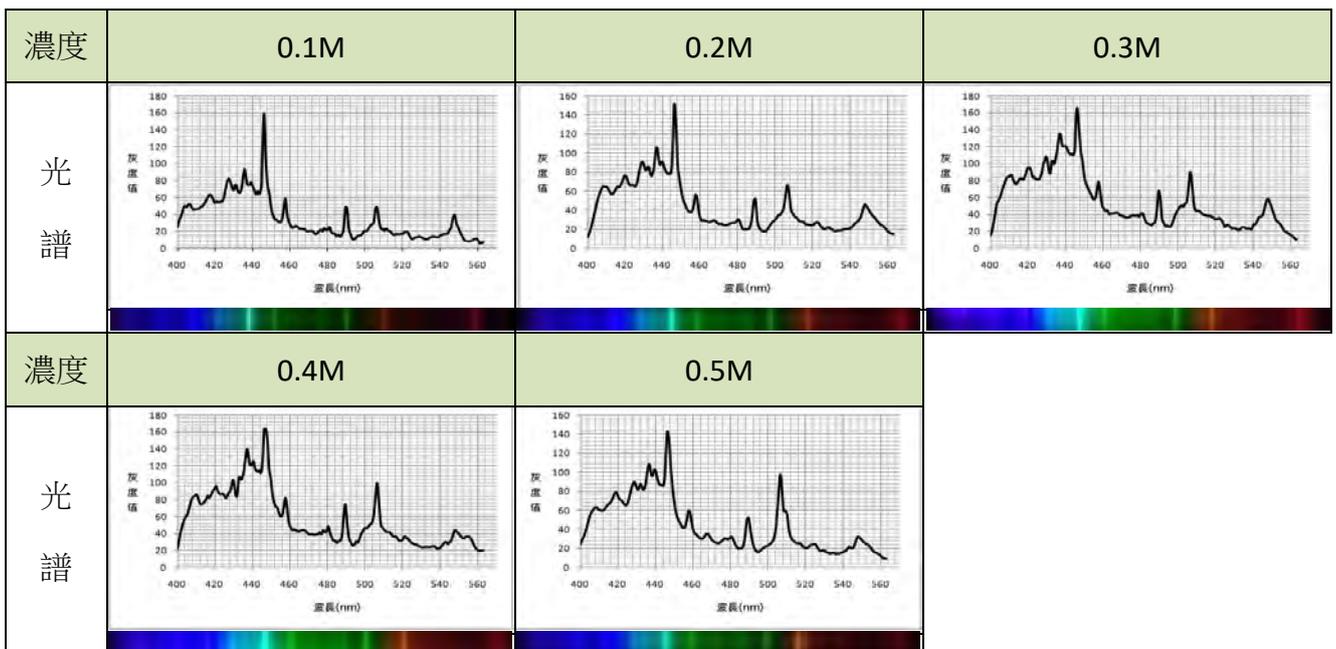
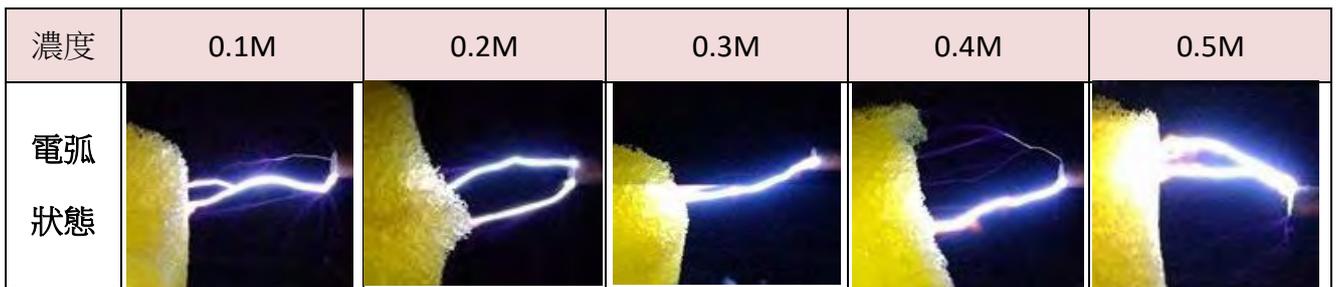


中性：NaCl

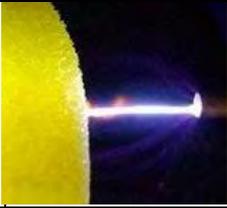
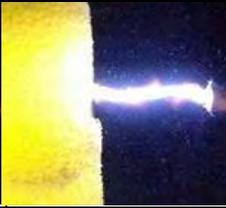
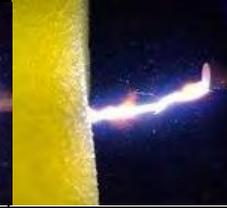
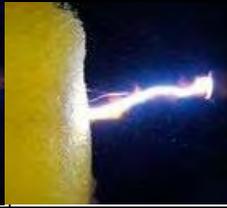
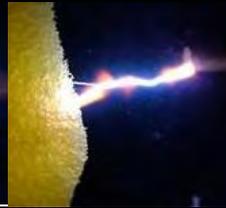


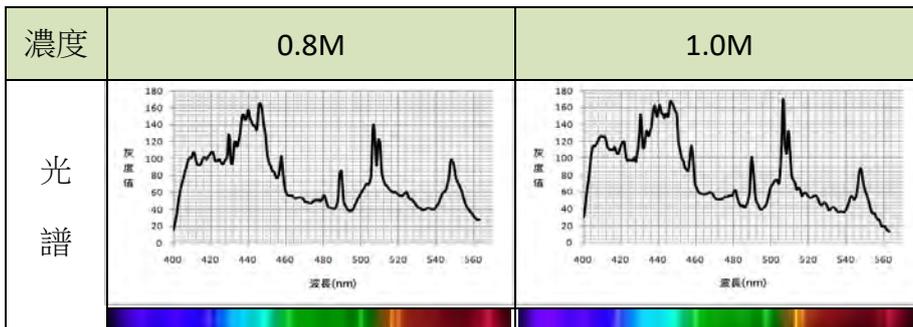
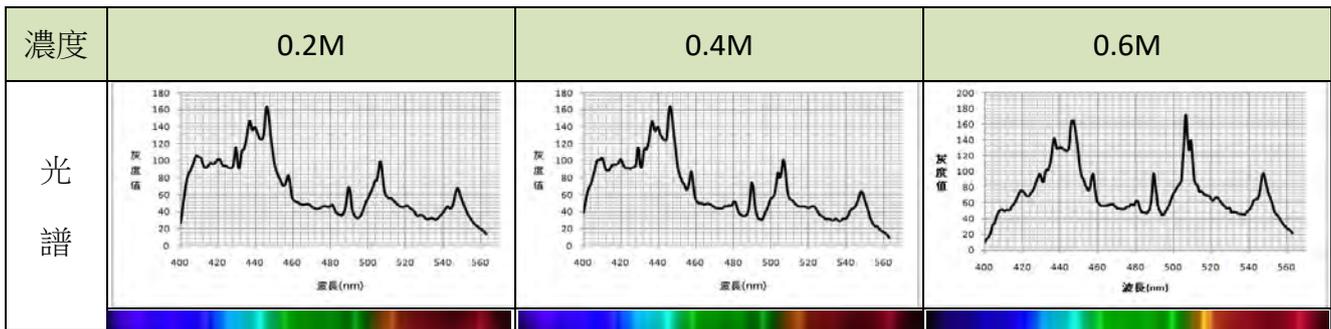


弱鹼：NaHCO₃



強鹼：NaOH

濃度	0.2M	0.4M	0.6M	0.8M	1.0M
電弧 狀態					

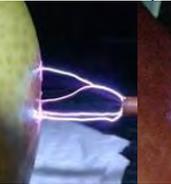
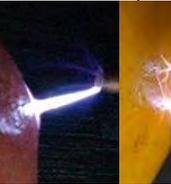
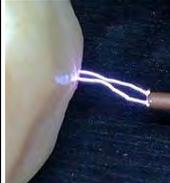
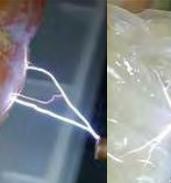
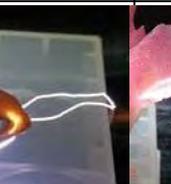
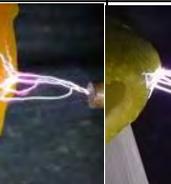
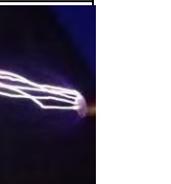


這個實驗是因『54屆全國科展電光石火-閃電之色彩研究』，離子濃度在電弧下可以以顏色來決定，我們用類似的方法想呈現原來的實驗，卻發現幾個問題：首先，電弧產生是瞬間的，我們以連拍的方式拍攝，卻發現每次產生的電弧都有一些差異；再來相機的感光無法分辨細微的顏色變化，我們利用手機與單眼相機都是如此，可以由上圖觀察，因為那件科展無實際照片，只有用電腦模擬圖，所以不知道是如何照出來的，令我們很想知道怎麼處理的。

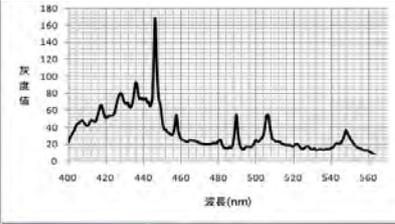
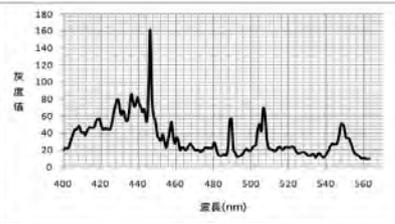
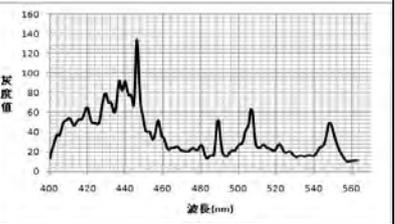
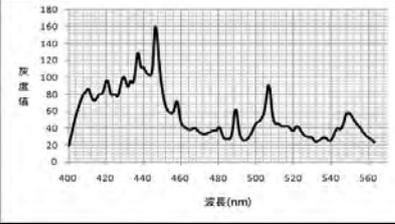
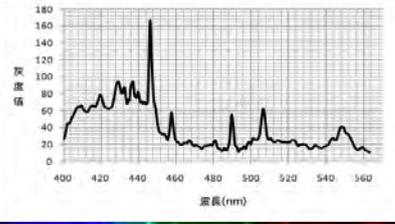
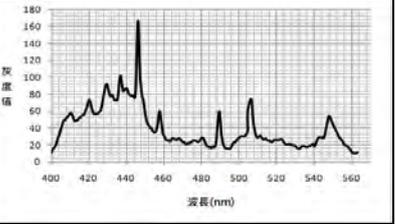
實驗四 高壓電弧對水果、豬肉蝕刻後的電弧狀態與光譜分析

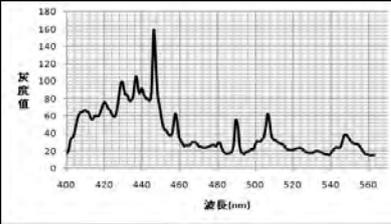
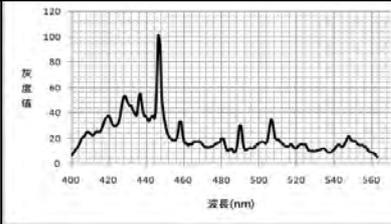
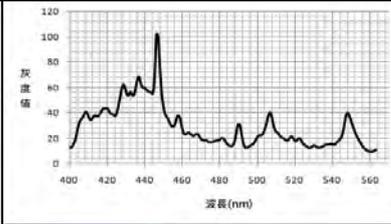
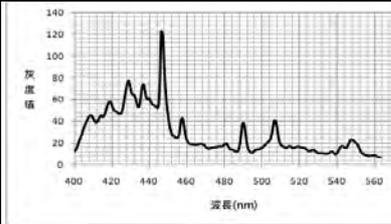
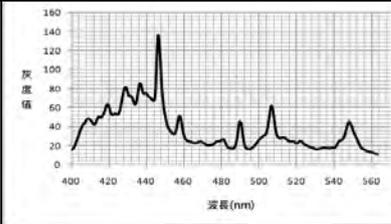
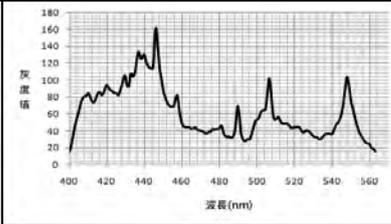
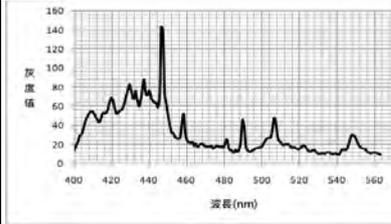
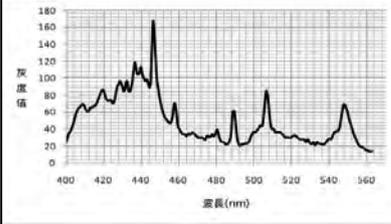
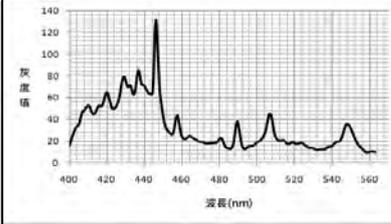
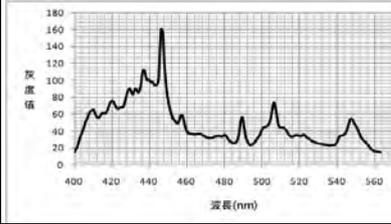
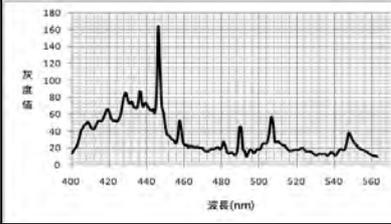
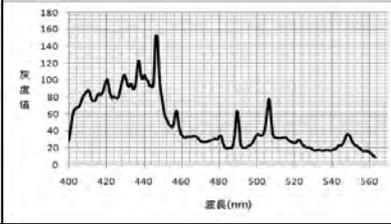
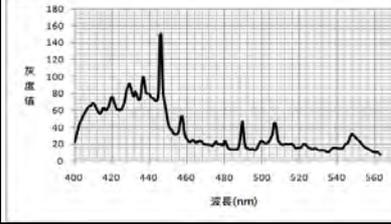
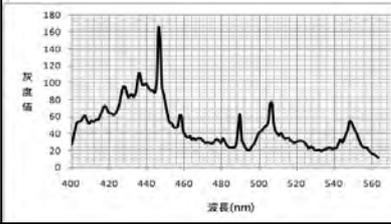
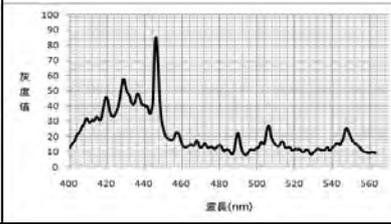
4-1 高壓電弧對水果蝕刻後的電弧狀態與光譜分析

水果電弧狀態：

電弧狀態						
蘋果	水蜜桃	香蕉	西洋梨	蓮霧	茂谷柑	檸檬
						
蘋果肉	水蜜桃肉	香蕉肉	西洋梨肉	蓮霧肉	茂谷柑肉	檸檬肉
						
蘋果皮	水蜜桃皮	香蕉皮	西洋梨皮	蓮霧皮	茂谷柑皮	檸檬皮
						

水果光譜分析：

狀態	蘋果	蘋果肉	蘋果皮
光譜			
狀態	水蜜桃	水蜜桃肉	水蜜桃皮
光譜			

狀態	香蕉	香蕉肉	香蕉皮
光譜			
狀態	西洋梨	西洋梨肉	西洋梨皮
光譜			
狀態	檸檬	檸檬肉	檸檬皮
光譜			
狀態	茂谷柑	茂谷柑肉	茂谷柑皮
光譜			
狀態	蓮霧	蓮霧肉	蓮霧皮
光譜			

我們在實驗中同時也發現有些水果被電弧離子蝕刻後，有明顯的痕跡，譬如西洋梨內外
部、香蕉外皮，其餘幾乎沒變化，有變化的水果如下表，推測與本身水果的性質有關。

狀態	西洋梨內外部	西洋梨內部	香蕉外皮
電弧 狀態			

因為水果離子蝕刻時，某些特定水果的果皮會有特殊的顏色，應該是含有鉀或鈉，而在這個電弧產生器所產生的光譜的頻寬這麼小的情形下，很難用光譜來分辨差異，不過水果中的西洋梨，表皮一下子就被打黑，裡頭的肉也具有同樣的情形。

4-2 高壓電弧對豬肉離子蝕刻後的電弧狀態與光譜分析

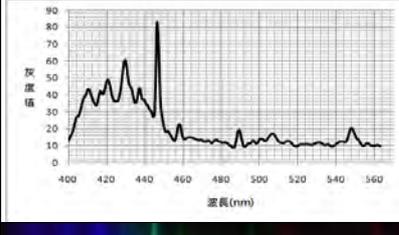
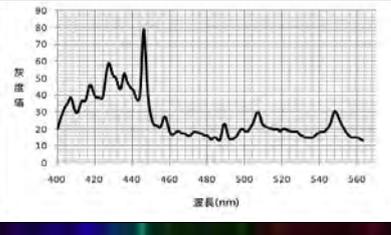
利用電弧對豬皮離子蝕刻後，可以發現一個現象，就是豬皮後的脂肪有融化的現象(如下圖 9)，表皮也被打到焦黃，同時也可以發現電弧顏色與電香蕉的情形很像，具有淡紫色偏黃的情形。



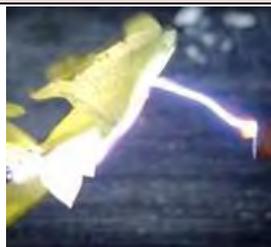
圖 8 豬肉表皮焦黃



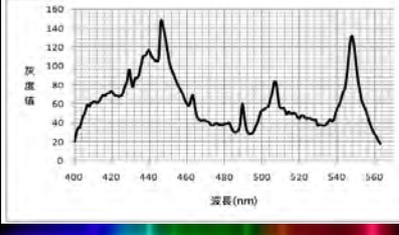
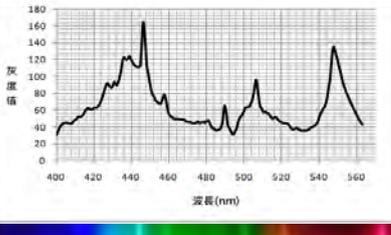
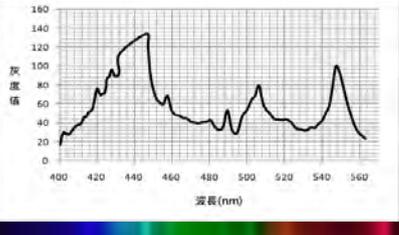
圖 9 脂肪被電弧融化狀態

狀態	五花肉	豬皮
電弧 狀態		
光 譜		

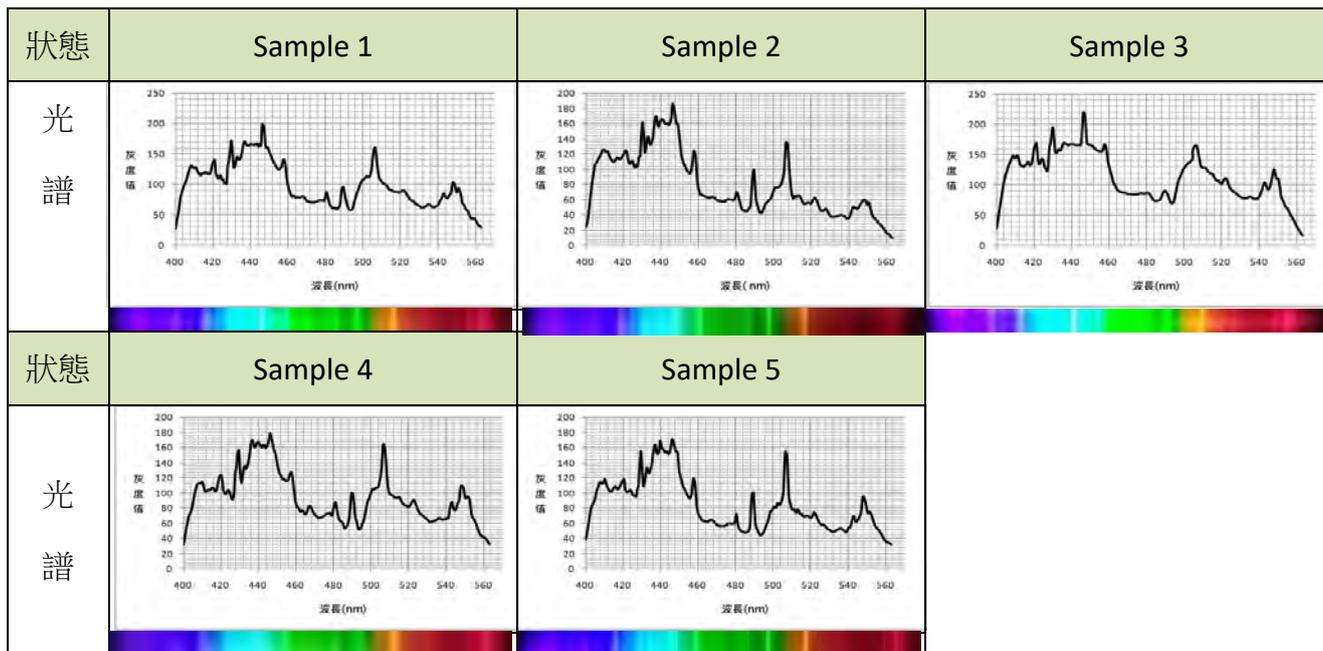
實驗五 針對蔬菜利用離子蝕刻的光譜判斷其農藥殘留的有無

濃度	非農藥	有農藥
電弧 狀態		

無農藥的芹菜葉

狀態	Sample 1	Sample 2	Sample 3
光 譜			

具農藥的芹菜葉



在這個實驗我們做了很多次，甚至有些是故意不說是否有農藥，讓其他組員依據光譜的圖形來判斷，在多次的練習之後，我們很清楚的了解波長在 400~430nm 與 500~520nm 的地方，波峰與灰度值有些不同，我們會在後面實驗討論的地方再做深入的討論。

陸、結論

實驗一 不同導體材質的功函數與對電弧狀態、最大距離的關係以及光譜分析

材質功函數對電弧最大距離與電弧狀態的影響

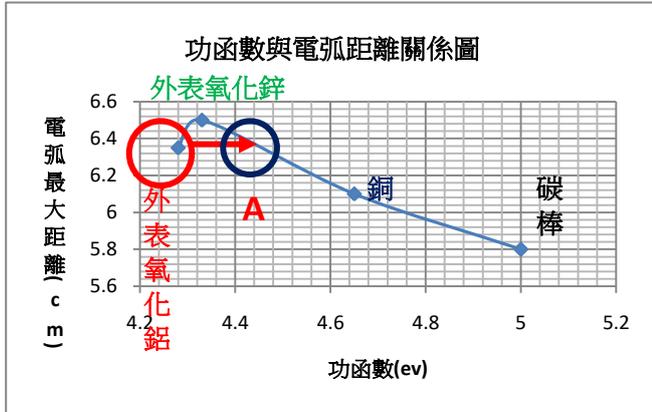


圖 10 功函數與電弧最大距離關係圖

從上圖 10 結果可以看出除了鋁之外，鋅、紫銅、碳棒的電弧最大距離的確是跟功函數呈現負相關，那麼避雷針的選擇，或許可以撇開因電阻在傳遞中產生的電流熱效應，選擇功函數越小的材質更容易引電下來。

而鋁為何會不在功函數的趨勢線上？那麼如果要使鋁在功函數與電弧最大距離的趨勢線上，那就必須要往右移動至圖 10 上的 A 點，可以發現產生的新功函數比純鋁的功函數大，根據我們的判斷，因為鋁與鋅的氧化還原電位都很高，很容易氧化成氧化鋁與氧化鋅，而氧化鋁(Al_2O_3)的電子能隙(快 9eV)，遠大於類似半導體的氧化鋅的能隙(約 3.37V) (王, 彭, 王, 王, & 劉, 2012)，所以可以發現，的確變成氧化鋁時功函數變大，電子能隙變高。導致外層的氧化鋁比鋅外層的氧化鋅影響更大，影響了我們原本預定鋁的功函數。代表我們所測的鋁金屬根本就是外表被氧化鋁包覆，進而了解鋁氧化後會造成功函數變大。

而功函數對電擊頻率雖然沒有直接的關係(上圖 11)，但卻發現功函數對電流與電弧最大距離的關係很像左右對稱上下顛倒的關係，如圖 10 與 12。除了鋁之外，兩者呈現正相關，可能是功函數越大，所需要累積的能量越多，導致傳出來的能量也越大。

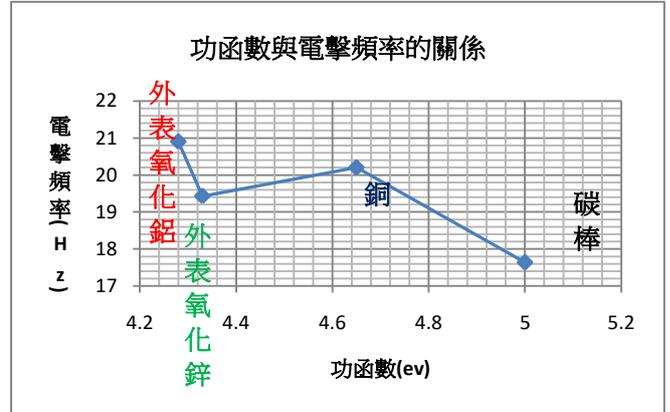


圖 11 功函數與電擊頻率關係圖

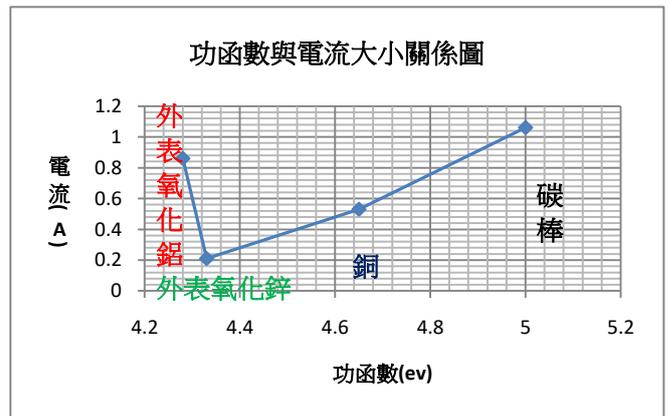


圖 12 功函數與電流大小關係圖

材質光譜的分析

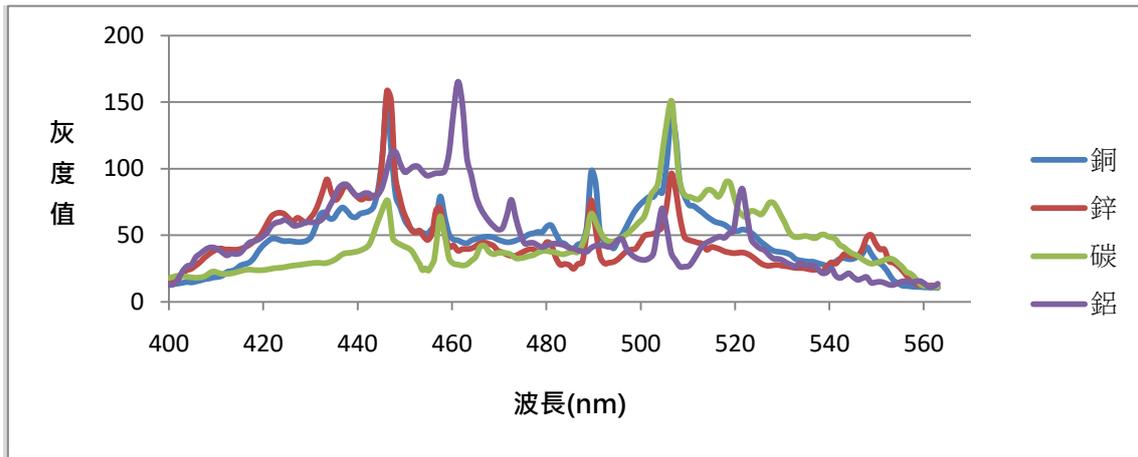


圖 13 碳鋁鋅銅的光譜分析圖

做完整個實驗發現光的範圍全都落在 400~570nm 內，經過校正的圖，可以發現波長的位置都很相似，無法比較，推測電弧的能量太高，先將電極之間的氣體游離所造成的結果。而我們觀察到的波長範圍在可見光譜的部分，我們後續實驗可以利用電弧了解其他物質對此光譜內的光譜強度影響。

實驗二 探討合金比例與粗細對電弧狀態、最大距離、功函數的影響及光譜分析

實驗 2-1 不同合金比例對電弧狀態、最大距離、功函數的影響與光譜分析

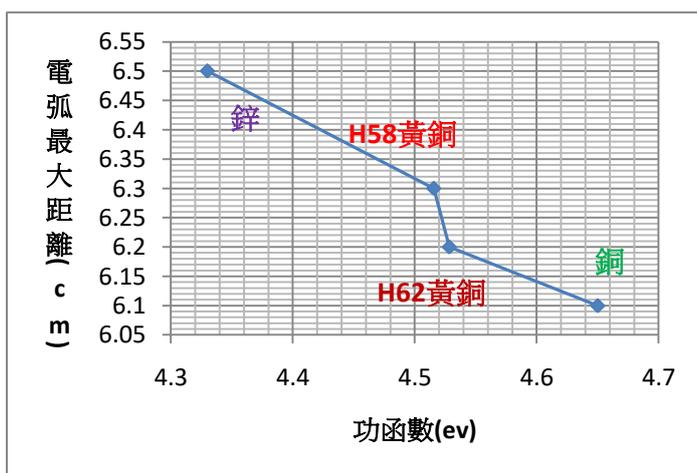


圖 14 合金推測功函數對電弧最大距離關係圖

從左圖可以觀察到與實驗一的趨勢線有所差異，但仍然是有功函數越大，電弧最大距離越小的情形，推測有兩種可能：第一是購買時的合金黃銅本身的比例就不是很精準，第二是混合之後的功函數並不是我們所想的可以依照比例來推測功函數，分子跟分子之間可能有其它的引力作用而造成無法很正確的估算功函數。

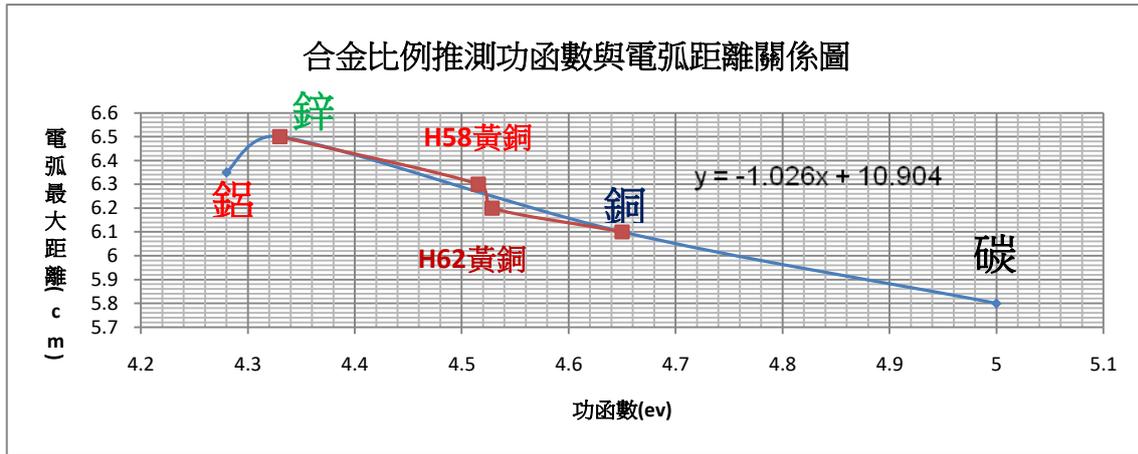


圖 15 合金比例推測功函數對電弧最大距離關係圖

因為圖 14 的趨勢實在很像實驗一的情況，所以我們將兩個圖合起來觀察(圖 15)，果然合金是在這個圖 15 的趨勢上，雖然說並不是很準確，但未來應該可以利用電弧最大距離來簡單估算合金的比例，去除鋁之後的趨勢線公式為 $y = -1.026x + 10.904$ 。

合金光譜的分析

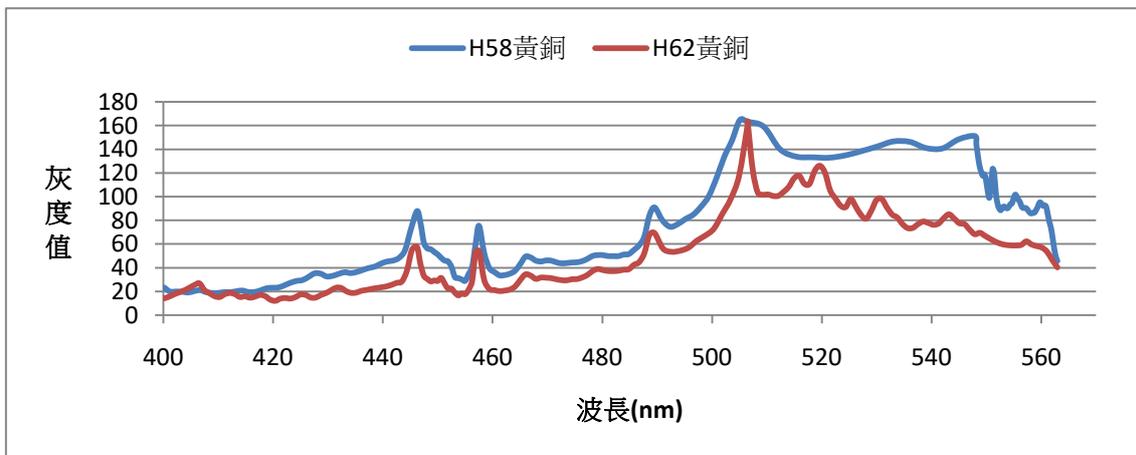


圖 16 不同合金比例的光譜圖

從光譜圖形來看，合金的灰度值高低相似，以電弧產生器形成的波段，波峰位置仍然相似，判斷仍然為氣體游離所造成，雖然從圖 16 中可以發現鋅比例越高灰度值越高，但因為樣本只有兩種合金，所以很難判斷光譜對合金比例的關係。

實驗 2-2 合金粗細對電弧狀態、最大距離及光譜分析

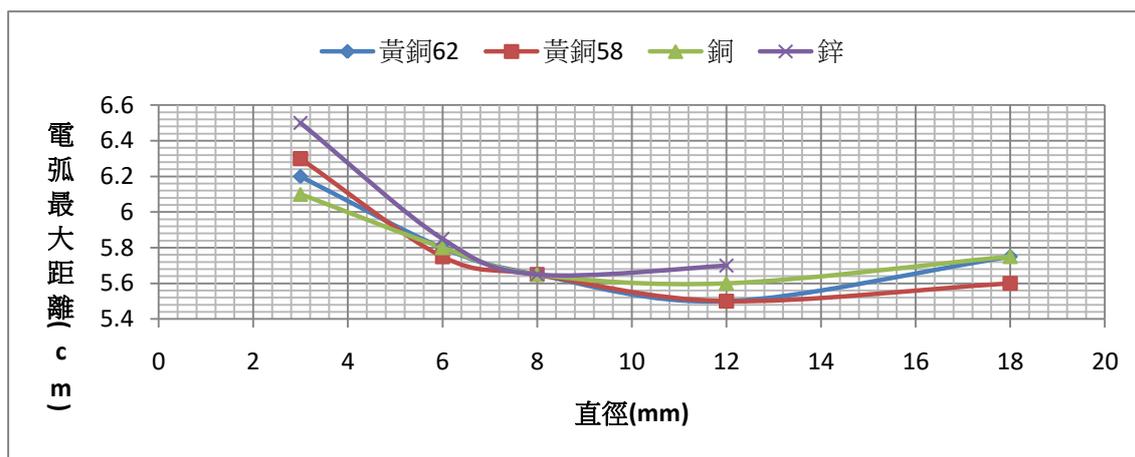


圖 17 合金粗細對電弧最大距離關係圖

果然與一開始的推測很像，大致上產生電弧最小距離落在直徑 8~12mm 之間，其實可以看出鋅的引電效果比紫銅及其他合金好，就算是界限也在較小的直徑上。可惜的是鋅有兩個缺點，一是容易產生氧化鋅，二是價格昂貴導致。

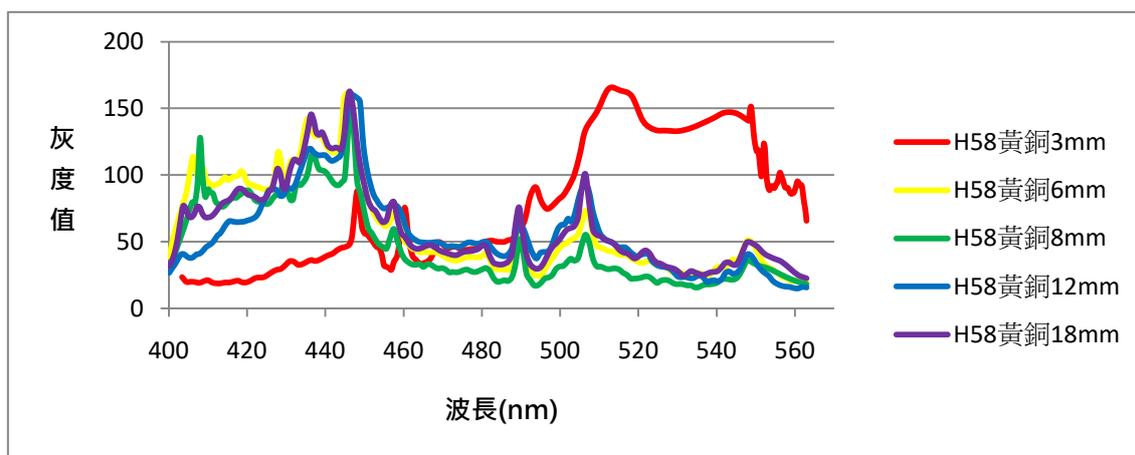


圖 18 黃銅 H58 不同粗細的光譜圖

將 H58 黃銅不同粗細的光譜整理觀察，可以看出波峰的位置大致上相同，差別只是在灰度值的多寡不同而已，3mm 光譜的灰度值差異最大，很可能與越細電流越不穩定有關。而光譜的灰度值大小與合金粗細似乎沒有規則。

實驗三 針對不同濃度的溶液電擊後電弧狀態以及光譜分析

電弧狀態無法分別顏色的變化，只可以看出有紫紅的點狀電弧，且濃度越大，紫紅點狀的電弧也越多。我們針對五種不同強弱電解質，各自將不同濃度光譜結合在一起觀察，可以看出波峰是相同位置。

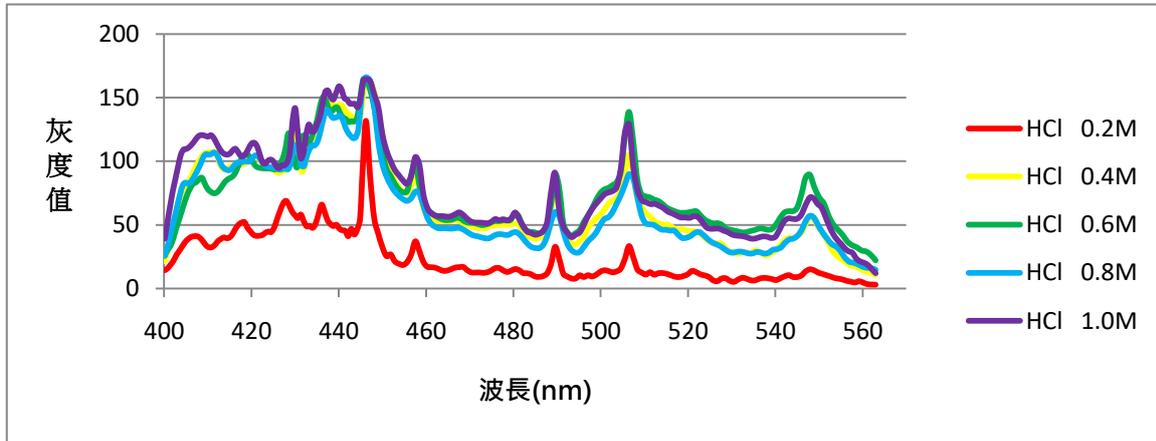


圖 19 HCl 不同濃度電弧光譜圖

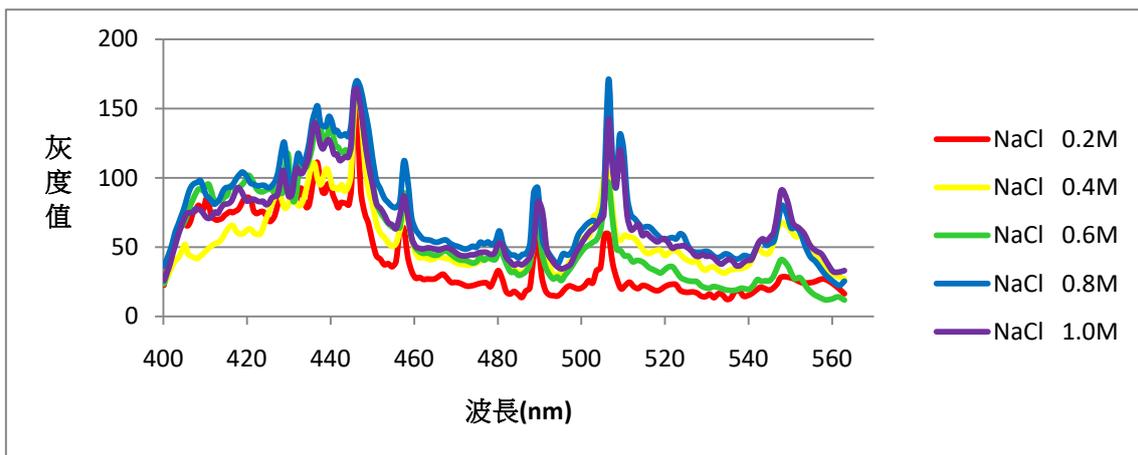


圖 20 NaCl 不同濃度電弧光譜圖

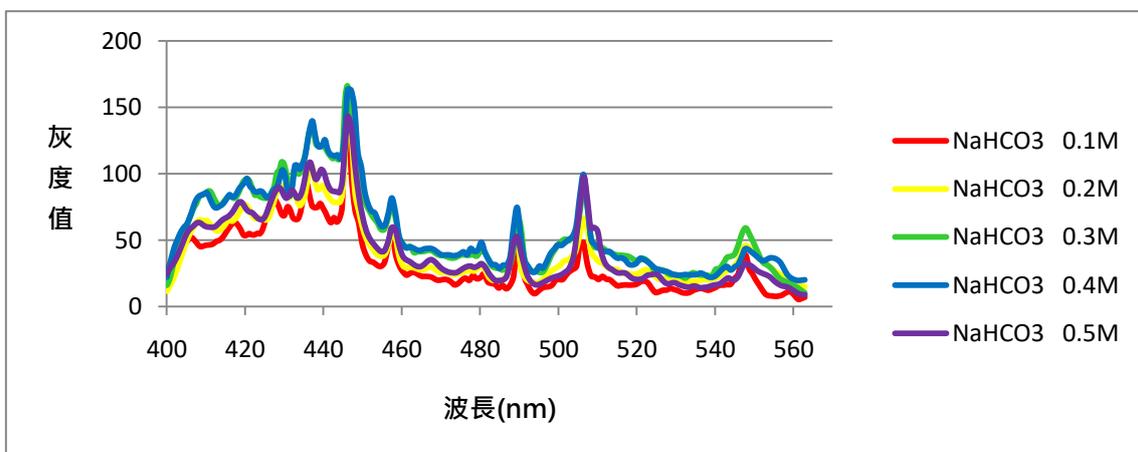


圖 21 NaHCO₃ 不同濃度電弧光譜圖

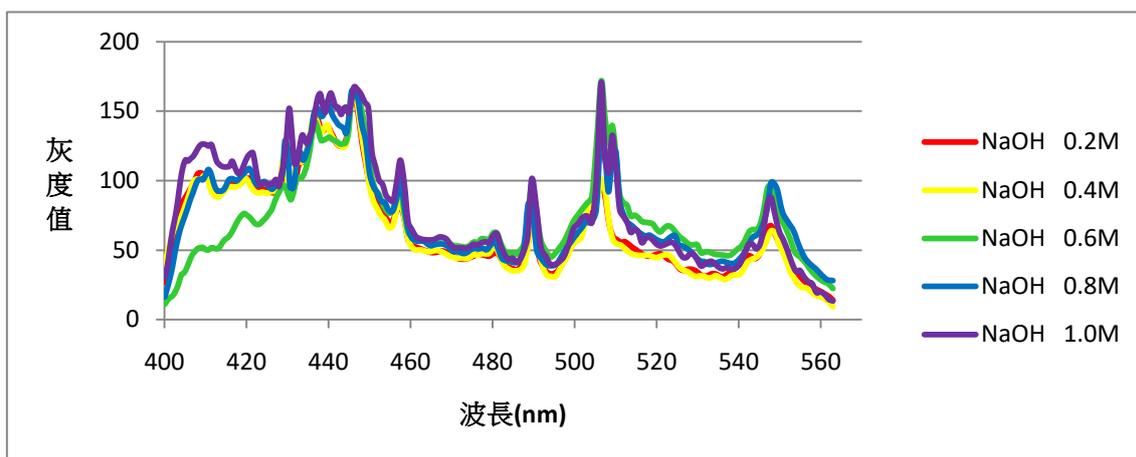


圖 22 NaOH 不同濃度電弧光譜圖

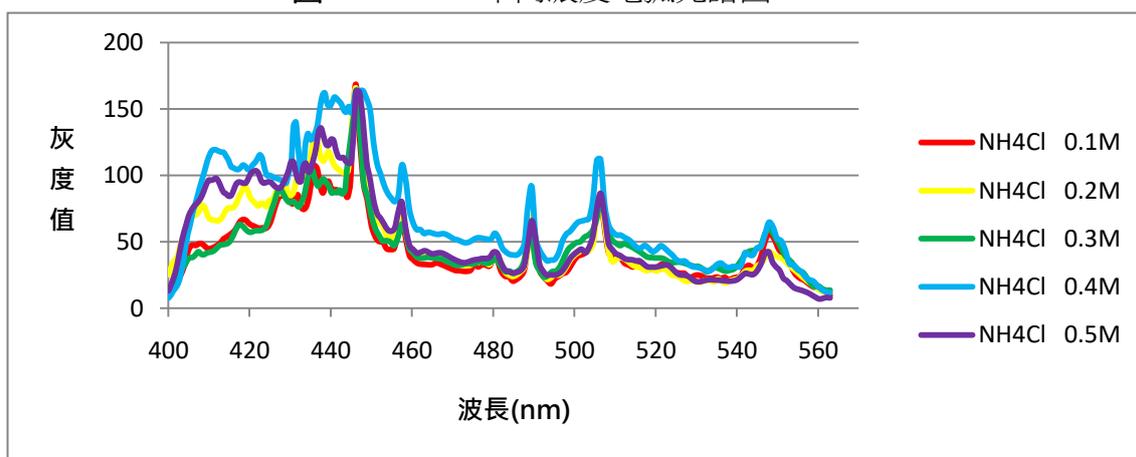


圖 23 NH₄Cl 不同濃度電弧光譜圖

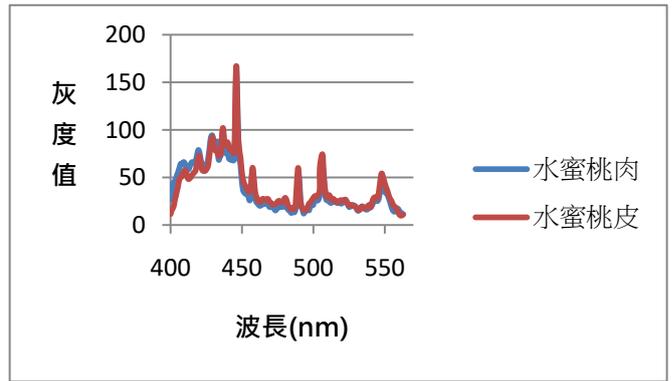
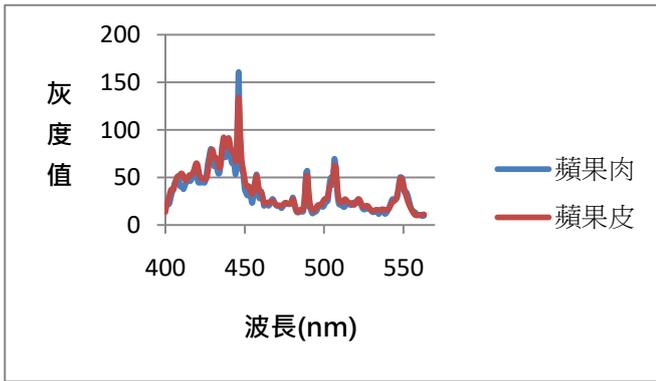
在高濃度電解質的電弧，有明顯的紫紅色光點，但從電解質的濃度對光譜圖來說，沒有一定的規則，很可能在電擊的過程中，造成本身濃度的變化，使空氣氣體汽化離子時不穩定。

實驗四 高壓電弧對水果、豬肉離子蝕刻後的電弧狀態與光譜分析

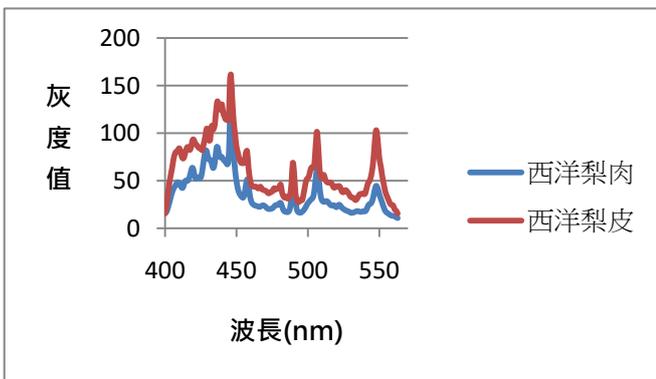
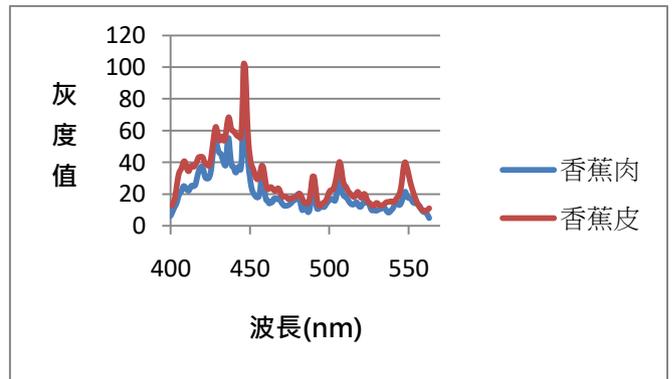
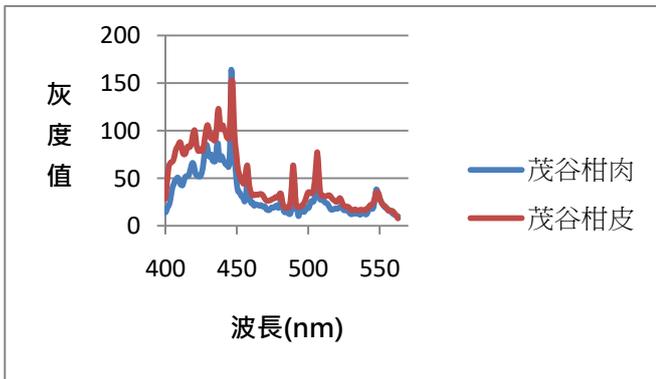
水果離子蝕刻

對水果離子蝕刻，電弧狀態可以發現兩種結果，第一種顏色是發現大部分水果電弧偏紫紅，同時也發現在直接電擊果皮時，其紫紅色更明顯，第二種顏色則是紫紅偏白色，其中柑橘類與香蕉的電弧顏色偏淡，推測是香蕉與柑橘類含的鈉離子較高之故，鈉離子黃色的焰色所影響，所以我們下面用果皮、果肉光譜來做比較觀察。因水果種類將其分為三類結果。

果皮與果肉光譜相似



果皮灰度值大於果肉



果肉灰度值大於果皮

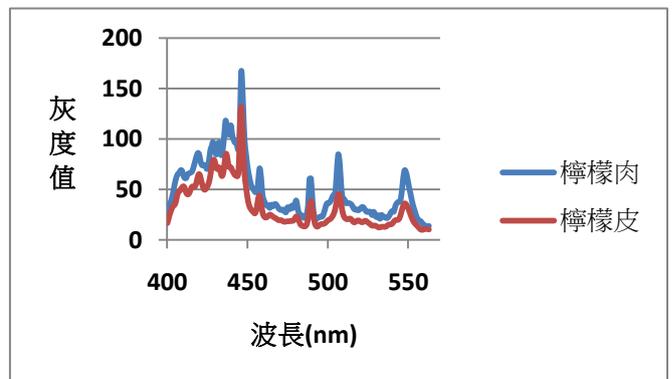
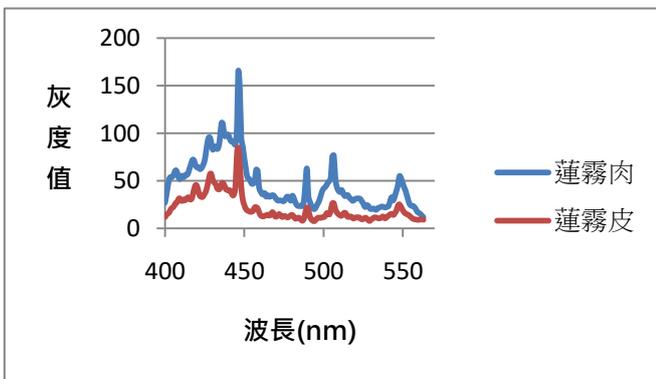


圖 24 七種水果果皮與果肉光譜比較圖

灰度值可以代表光譜強度，在這波長內，可以說水蜜桃、蘋果，果肉與果皮成分對光譜強度影響相似，茂谷柑、香蕉、西洋梨，果皮成分對光譜強度影響優於果肉，蓮霧與檸檬，果肉對光譜強度影響優於果皮。由光譜對照電弧顏色可以發現，具有紫紅色的電弧，水果果皮的灰度值 \geq 果肉灰度值，也就是除了檸檬與蓮霧以外都有偏紫的電弧。

豬肉離子蝕刻

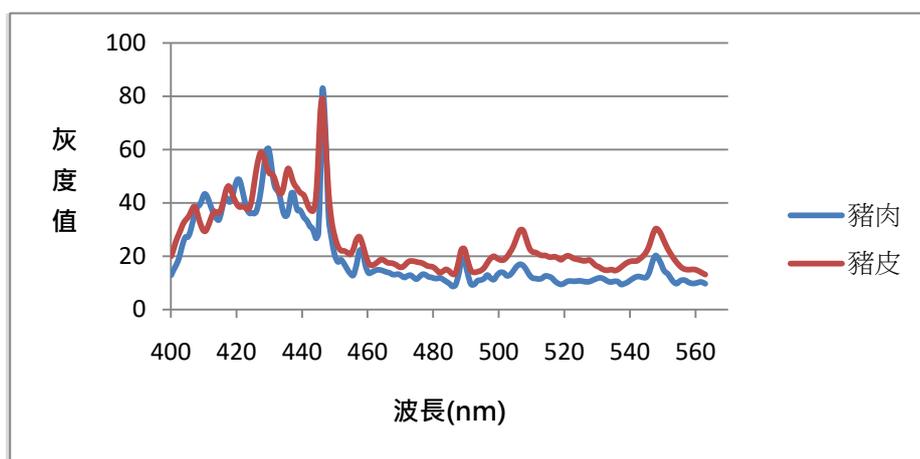


圖 25 豬皮與豬肉光譜比較圖

豬肉在這可見光譜內的灰度值相對於水果來說較低，但豬皮倒是比豬肉高。

實驗五 針對蔬菜利用離子蝕刻的光譜判斷其農藥殘留的有無
農藥與非農藥都以 sample1 代表來比較觀察：

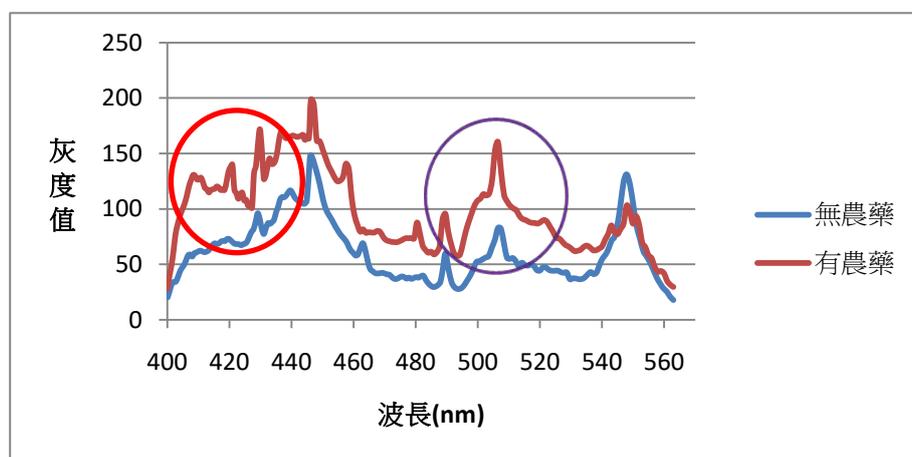


圖 26 芹菜葉農藥與非農藥光譜比較圖

綜合所有的有農藥與非農藥的芹菜葉來觀察，可以發現有兩個地方有明顯的差異：第一，可以看到圖 26 右邊圈起來的部分，在波長 500~520nm 的波峰，有農藥的灰度值明顯大於無農藥。另外可以發現左邊圈起的部份，有農藥在光譜偏藍光的地方容易產生吸收波峰。

但後來隔幾天重做這個實驗，想要重新確認光譜，結果兩者竟然無法分辨，光譜圖形沒有我們所觀察到兩個不同的地方。研究結果發現，雖然兩者並無接觸，具農藥的芹菜葉，竟然讓自己的農藥也飄到無農藥的芹菜葉，同時也將一開始就放冰箱

的芹菜做離子蝕刻，果然兩者之間的差別又出現了。所以農藥就算是沒有接觸，但也會經過空氣傳遞，這真的是令人訝異。

柒、未來展望

我們發現水蜜桃及蘋果果肉與果皮光譜相似，茂谷柑、香蕉、西洋梨果皮的光譜灰度值高於果肉，蓮霧與檸檬果肉光譜灰度值優於果皮。或許是因為果皮具有一定的成分所造成，甚至高於果肉，所以我們未來可以深入探討果皮與果肉中真實成分或是含量多寡。

另外我們還發現，農藥與非農藥的光譜有明顯的差異，另外農藥可能會經由空氣傳遞，所以我們除了進一步用其他不同品牌的的農藥來進行觀察，也希望能推廣無農藥的農業社會。

捌、參考資料

- 1、維基百科. (2016 年 10 月 2 日). 2016 年 11 月 7 日 擷取自: 功函數
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%8A%9F%E5%87%BD%E6%95%B0>
- 2、維基百科. (2016 年 10 月 7 日). 2016 年 12 月 5 日 擷取自: 電弧
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%94%B5%E5%BC%A7>
- 3、維基百科. (2016 年 12 月 10 日). 2017 年 1 月 16 日 擷取自: 光電效應
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%85%89%E7%94%B5%E6%95%88%E5%BA%94>
- 4、第 54 屆中小學科學展覽會 國中組物理科 電光石火-閃電之色彩研究
<http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/54/pdf/030107.pdf>
- 5、第 56 屆中小學科學展覽會 國中組物理科 空心的雷神之槌 — 避雷針與環境的變化對產生電弧的影響
<http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/56/pdf/030104.pdf>
- 6、郭振源. (2004). 有機光譜學. 高立圖書有限公司.
- 7、王志勇, 彭超群, 王日初, 王小鋒, & 劉兵. (2012 年 2 月). 氧化鋅鋁的典型性能與研究發展. 中國有色金屬學報, 22 (2), 頁 416-426.

【評語】 030121

本作品研究材料功函數與電弧狀態之關係。作者以不同材料，及其氧化物，觀察各種電弧產生之距離、頻率、電流之變化。並探討電弧之光譜分布。最後以此方法探討各種水果電弧放電後之結果。作品研究實驗完整，對結果有作基本分析，結果也可能用到食品檢驗，作品具良好水準，值得嘉許。

作品海報

摘要

針對材質功函數與電弧狀態的關係進行研究，進而研究合金比例與功函數的關係，結果如下：

材質功函數

- 1、功函數與電弧最大距離有負相關，金屬表面氧化讓功函數變小。
- 2、合金比例所乘出的功函數對應的電弧最大距離與實際值接近。
- 3、直徑8~12mm的避雷針效果差。

應用

- 1、電解質濃度越大電弧中紫色光點越多。
- 2、水果電弧偏紫紅，柑橘類與香蕉的顏色偏淡，可能是所含的鈉離子較高。也發現果皮灰度值 \geq 果肉的水果及灰度值大於豬肉的豬皮電弧顏色會偏紫紅。
- 3、農藥與非農藥可由波峰在波長500~520nm與偏藍光光譜來分辨。

研究動機

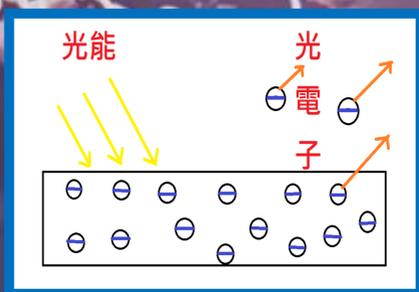
在課堂上看到學長姐展示電弧裝置，當產生閃亮炫麗的電弧，畫面深深刻印在我們腦海中，令我們有想馬上做實驗的強烈動機。了解之前科展主要是針對導體的金屬材質、距離以及形狀對電弧的影響及針對蔬果來做離子蝕刻，研究中有一部分他們發現在不同的金屬以及蔬果都有不同顏色的電弧，但只是就顏色來探討，並沒有深入討論；另外針對材質的電阻率對電弧的影響，結果卻是一個沒有關係的圖形，可能是與功函數有關。於是我們這次想完成學長姐在上屆科展尚未完成實驗的遺憾，延續研究他們有問題及未深入探討的實驗。

研究目的

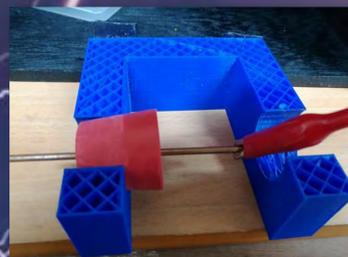
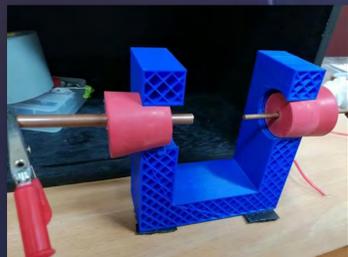
- 1、探討不同純物質導體功函數對電弧狀態、最大距離及光譜分析。
- 2、探討合金金屬比例與粗細對電弧狀態、最大距離及光譜分析。
- 3、針對不同濃度的電解質溶液電擊後電弧狀態以及光譜分析。
- 4、探討高壓電弧對水果、豬肉離子蝕刻後的電弧狀態與光譜分析。
- 5、利用高壓電弧針對蔬菜利用離子蝕刻的光譜分析判斷其農藥殘留的有無。

研究原理與準備

功函數是指要使一粒電子立即從固體表面中逸出，所必須提供的最小能量，在光電效應中如果一個擁有能量比功函數大的光子被照射到金屬上，則光電發射將會發生。任何超出的能量將以動能形式給予電子。(維基百科, 2016)



研究器材



研究過程

電擊棒導體材質探討

實驗一
純物質導體材質

使用脈衝打火機電子零件所產生的電弧，再利用各種導電棒當電擊棒來觀察

實驗二
合金比例與粗細

黃銅為鋅與銅的合金，利用黃銅鋅銅比例的不同規格有H58、H62來判斷對電弧的影響

實驗三
對不同濃度的電解質溶液

鹽酸、氯化銨、氯化鈉、碳酸氫鈉、氫氧化鈉

實驗四
對水果、豬肉離子蝕刻

針對上屆科展果皮所產生的紫紅色電弧，利用光譜做深入研究，並同時觀察豬皮模擬人皮被電的情形

實驗五:
對蔬菜利用離子蝕刻來判斷有無農藥

針對斗六區常用的農藥(強必勇做檢測)

電弧狀態、最大距離及光譜分析

電弧狀態及光譜分析

實驗校正

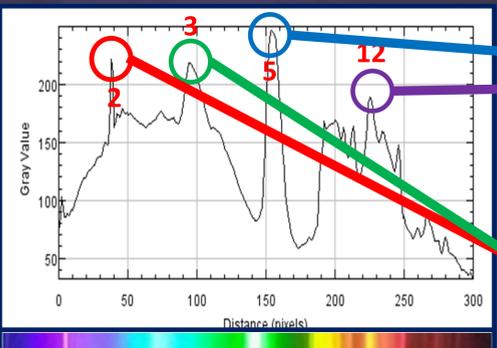


圖1 自行拍攝省電燈管光譜

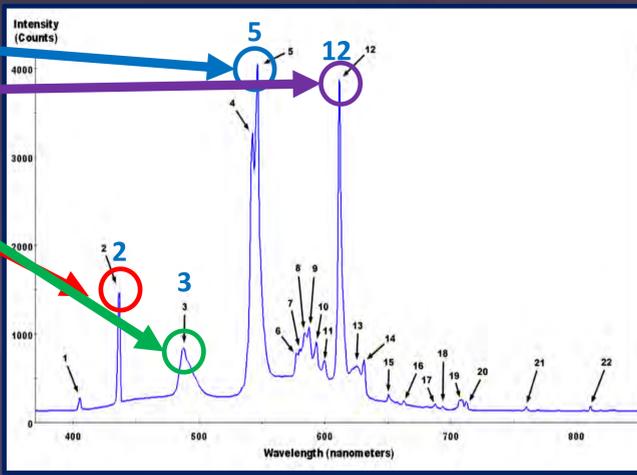


圖2 省電燈管光譜

Peak number	Wavelength of peak (nm)	Species producing peak	Actual line location (nm)	自己拍攝光譜波長(nm)
2	436.6	mercury	435.833	38.0
3	487.7	terbium from Tb ³⁺	~485 to 490	95.0
5	546.5	mercury	546.074	154.0
12	611.6	europium in Eu ³⁺ :Y ₂ O ₃	~611	225.0

表1 省電燈管波峰實際波長表(維基百科, Fluorescent lighting spectrum peaks labelled, 2016)

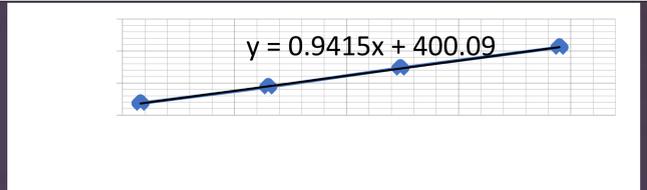


圖3 光譜校正圖

研究結果與結論

實驗一 不同導體材質的功函數與對電弧狀態、最大距離的關係以及光譜分析

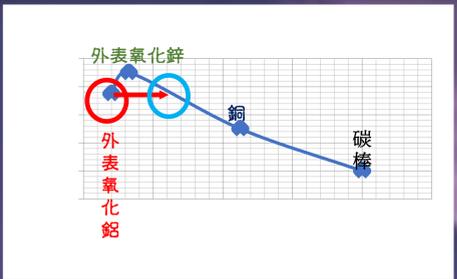


圖4 功函數與電弧最大距離關係圖

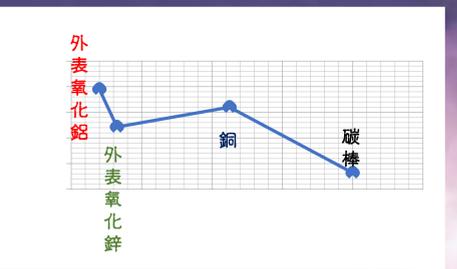


圖5 功函數與電擊頻率關係圖

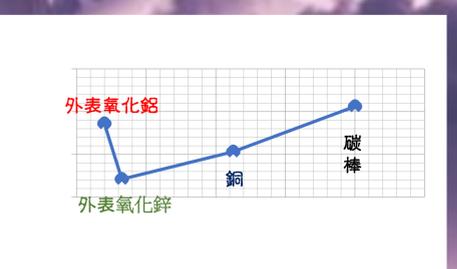


圖6 功函數與電流大小關係圖

圖4可看出除鋁外，電弧最大距離跟功函數呈負相關，若使鋁在功函數與電弧最大距離的趨勢線上，就必須往右移動至左圖上的A點，可發現對應的新功函數比純鋁大，據我們判斷，鋁與鋅的氧化還原電位都很高，易氧化，而氧化鋁(Al₂O₃)的電子能隙(快9ev)，遠大於類似半導體氧化鋅的能隙(約3.37V)(王, 彭, 王, 王, & 劉, 2012)，所以可發現，變成氧化鋁時功函數變大，電子能隙變高。外層氧化鋁比鋅外層的氧化鋅影響更大，影響了我們原本預定鋁的功函數。鋁氧化後會造成功函數變大。

功函數對電擊頻率雖然沒有直接的關係(圖5)，除鋁之外發現功函數對電流的關係呈現正相關(圖6)，可能是功函數越大，所需要累積的能量越多，導致傳出來的能量也越大。

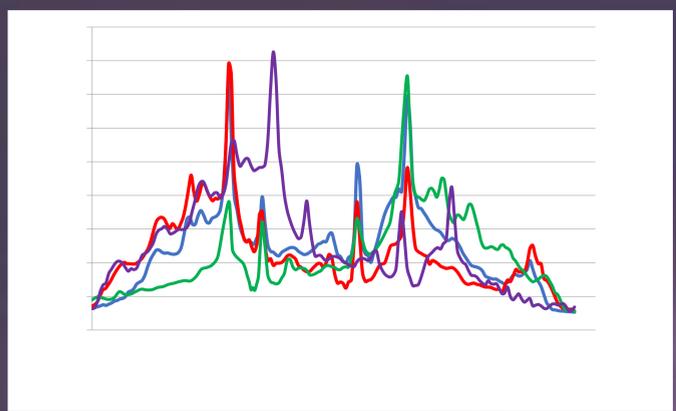


圖7 碳鋁鋅銅的光譜分析圖

從圖7發現光的範圍都落在400~570nm內，經過校正，可發現波長的位置都很相似，無法比較，推測電弧的能量太高，將電極之間的氣體游離造成的結果。我們觀察到的波長範圍在可見光譜的部分，後續實驗可以利用電弧了解其他物質對此光譜內的光譜強度影響。

實驗二 探討合金比例與粗細對電弧狀態、最大距離、功函數的影響及光譜分析

2-1 不同合金比例

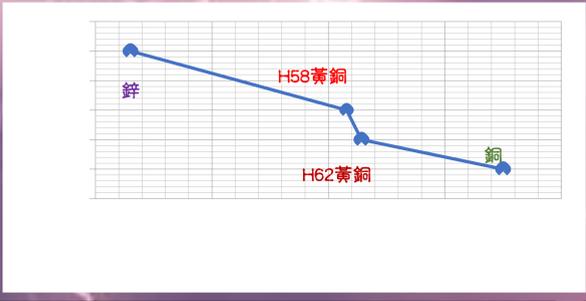


圖8 合金推測功函數對電弧最大距離關係圖

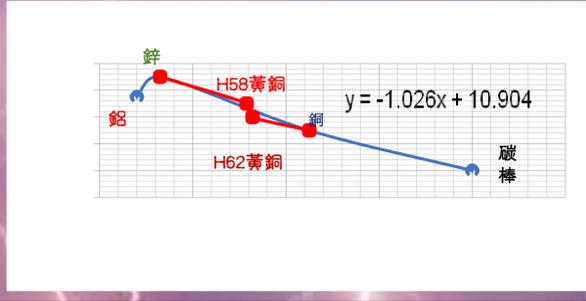


圖9 合金比例推測功函數對電弧最大距離關係圖

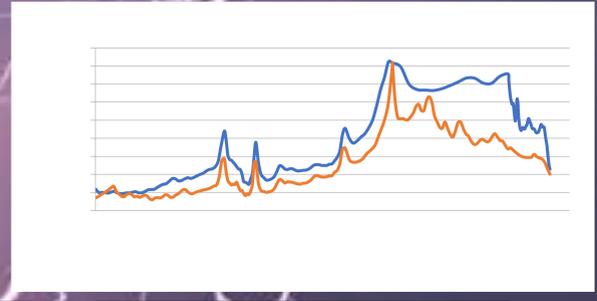


圖10 不同合金比例的光譜圖

從上圖可觀察功函數越大，電弧最大距離越小的情形，推測有兩種可能：一是購買時的合金黃銅本身比例就不精準，二是混合後的功函數並不是所想的可依比例來推測功函數，分子跟分子之間可能有其它的引力作用而無法正確估算功函數。

因為圖8的趨勢實在很像實驗一的情況，所以我們將兩個圖合起來觀察(圖9)，果然合金是在這個圖9的趨勢上，雖然說並不是很準確，但未來應該可以利用電弧最大距離來簡單估算合金的比例，去除鋁之後的趨勢線公式為 $y = -1.026x + 10.904$ 。

從圖形看，合金的灰度值高低相似，判斷仍然為氣體游離所造成，雖然可發現鋅比例越高灰度值越高，但因樣本只有兩種合金，故很難判斷結果。

2-2 合金粗細

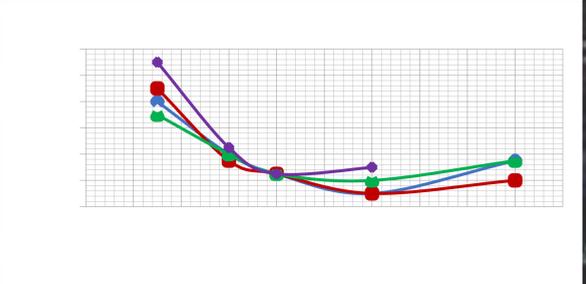


圖11 合金粗細對電弧最大距離關係圖

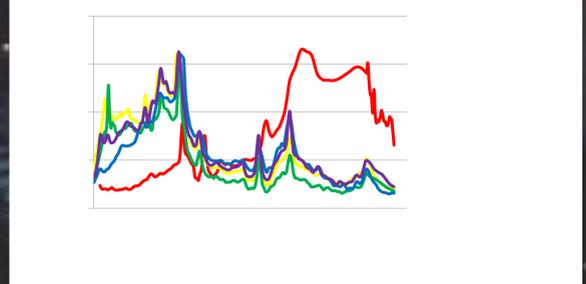
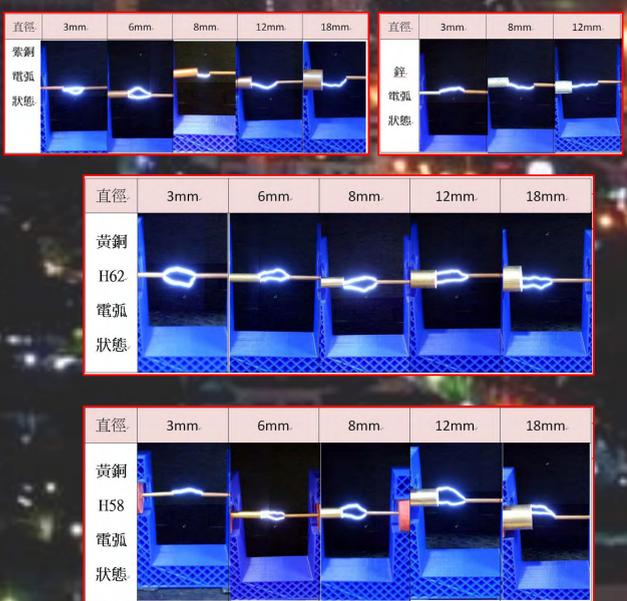


圖12 黃銅H58不同粗細的光譜圖

與一開始的推測很像，大致上產生電弧最小距離落在直徑8~12mm之間，其實可以看出鋅的引電效果比紫銅及其他合金好，就算是界限也在較小的直徑上。可惜的是鋅有兩個缺點，一是容易產生氧化鋅，二是價格昂貴。

將H58黃銅不同粗細的光譜觀察，可看出波峰的位置大致相同，差別在灰度值的多少，3mm光譜的灰度值差異最大，可能與越細電流越不穩定有關。



實驗三 針對不同濃度的溶液電擊後電弧狀態以及光譜分析

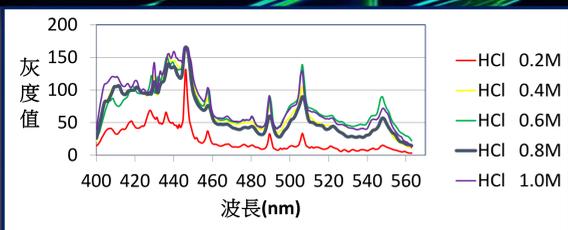


圖 13 HCl不同濃度電弧光譜圖

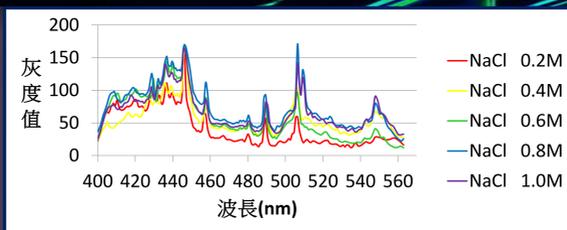


圖 14 NaCl不同濃度電弧光譜圖

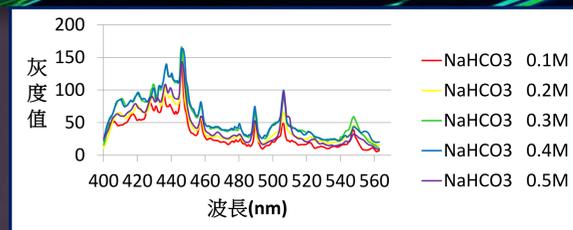


圖 15 NaHCO₃不同濃度電弧光譜圖

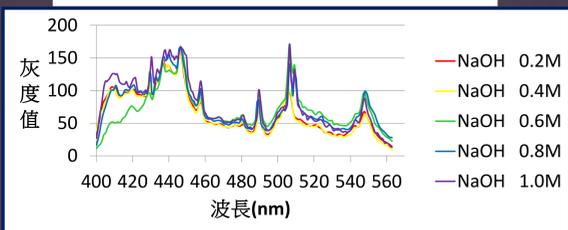


圖 16 NaOH不同濃度電弧光譜圖

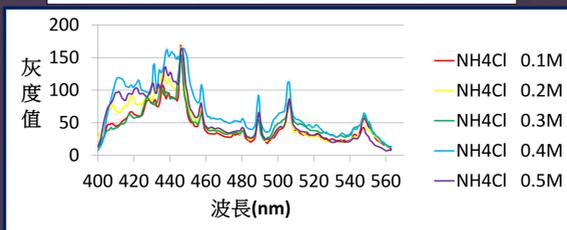
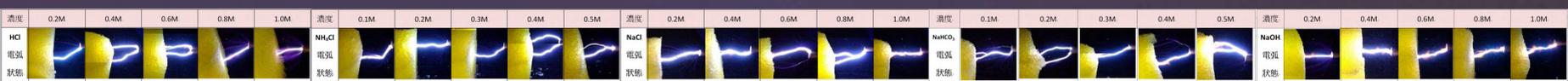


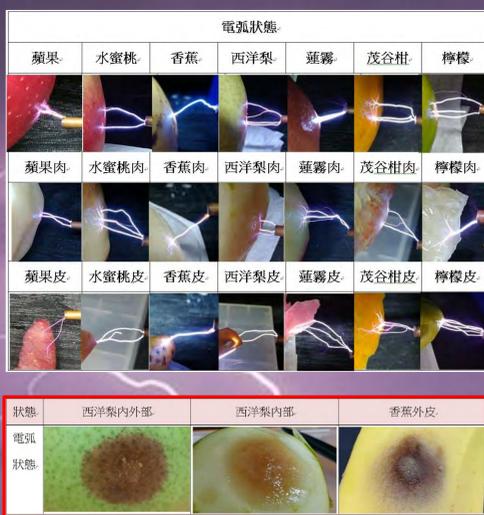
圖 17 NH₄Cl不同濃度電弧光譜圖

在高濃度電解質電弧，有明顯的紫紅色光點，但從濃度對光譜圖來說，沒有一定的規則，很可能在電擊的過程中，造成本身濃度變化，使空氣氣體汽化離子時不穩定。

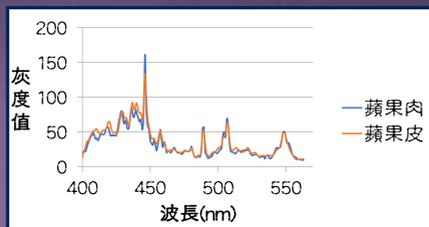


實驗四 高壓電弧對水果、豬肉離子蝕刻後的電弧狀態與光譜分析

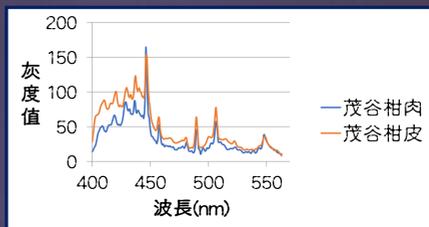
4-1 對水果蝕刻



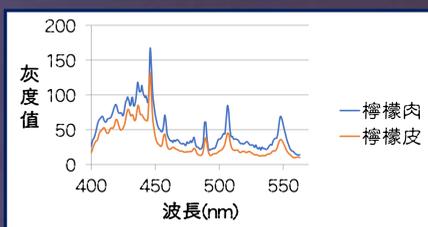
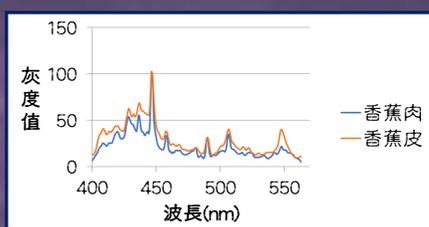
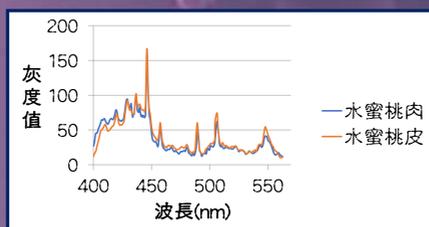
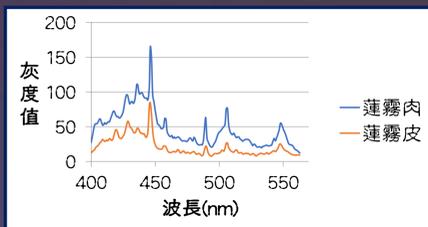
果皮與果肉光譜相似



果皮灰度值大於果肉



果肉灰度值大於果皮



4-2 對豬肉離子蝕刻

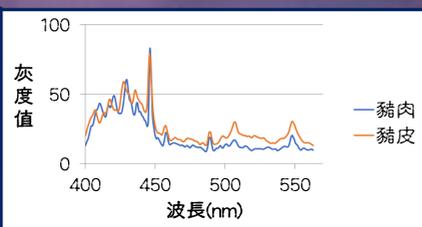
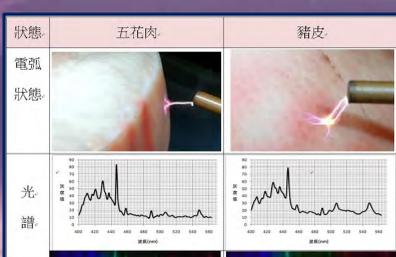


圖 19 豬皮與豬肉光譜比較圖

豬肉在這可見光譜內的灰度值相對於水果來說較低，但豬皮倒是比豬肉高。

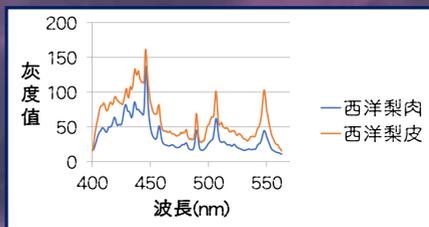


圖 18 七種水果果皮與果肉光譜比較圖

由光譜對照電弧顏色可以發現，具有紫紅色的電弧，水果果皮的灰度值 \geq 果肉灰度值，也就是除了檸檬與蓮霧以外都有偏紫的電弧。

灰度值可以代表光譜強度，在這波長內，可說水蜜桃、蘋果，果肉與果皮成分對光譜強度影響相似，茂谷柑、香蕉、西洋梨，果皮成分對光譜強度影響優於果肉，蓮霧與檸檬，果肉對光譜強度影響優於果皮。

實驗五 針對蔬菜利用離子蝕刻的光譜判斷其農藥殘留的有無

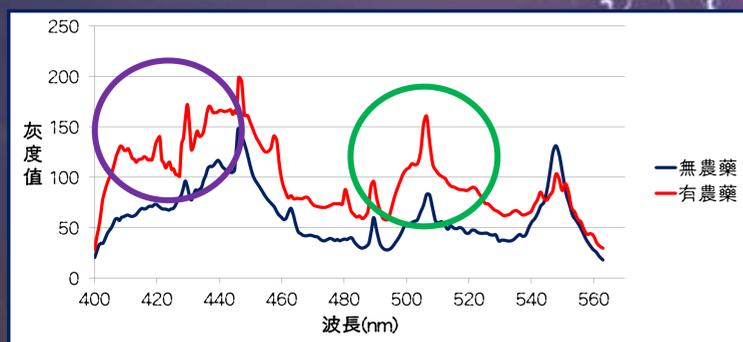


圖 20 芹菜農藥與非農藥光譜比較圖

綜合所有的有農藥與非農藥的芹菜葉來觀察，可以發現有兩個地方有明顯的差異：第一，可以看到圖20右邊圈起來的部分，在波長500~520nm的波峰，有農藥的灰度值明顯大於無農藥。另外可以發現左邊圈起的部份，有農藥在光譜偏藍光的地方容易產生吸收波峰。

參考文獻

- 1、維基百科. (2016年10月2日). 2016年11月7日 擷取自: 功函數
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%8A%9F%E5%87%BD%E6%95%B0>
- 2、維基百科. (2016年10月7日). 2016年12月5日 擷取自: 電弧
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%94%B5%E5%BC%A7>
- 3、維基百科. (2016年12月10日). 2017年1月16日 擷取自: 光電效應
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%85%89%E7%94%B5%E6%95%88%E5%BA%94>
- 4、第54屆中小學科學展覽會 國中組物理科 電光石火-閃電之色彩研究
<http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/54/pdf/030107.pdf>
- 5、第56屆中小學科學展覽會 國中組物理科 空心的雷神之槌-避雷針與環境的變化對產生電弧的影響
<http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/56/pdf/030104.pdf>
- 6、郭振源. (2004). 有機光譜學. 高立圖書有限公司.
- 7、王志勇, 彭超群, 王日初, 王小鋒, & 劉兵. (2012年2月). 氧化鋅鋁的典型性能與研究發展. 中國有色金屬學報, 22 (2), 頁 416-426.

後來隔幾天重做這個實驗，想要重新確認光譜，結果兩者竟然無法分辨，光譜圖形沒有我們所觀察到兩個不同的地方。研究結果發現，雖然兩者並無接觸，具農藥的芹菜葉，竟然讓自己的農藥也飄到無農藥的芹菜葉，同時也將一開始就放冰箱的芹菜做離子蝕刻，果然兩者之間的差別又出現了。所以農藥就算是沒有接觸，但也會經過空氣傳遞，這真的是令人訝異。