

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國中組 化學科

第三名

030213

染敏奈米銀格柵-導電膜的研究

學校名稱：臺中市立豐東國民中學

作者： 國一 林芯蜜	指導老師： 賴月琴
---------------	--------------

關鍵詞：自製導電薄膜照光系統、氧化還原、奈米銀  
金屬網格柵的導電膜

# 染敏奈米銀格柵-導電膜的研究

## 摘要

去年學姊用天然染料吸收 3w 鋁基板光照硝酸銀凝膠，使染料的電子躍遷至銀離子膠體上而還原出奈米銀變色膜。今年我們企圖將分散點狀的奈米銀成網狀格柵導電膜，為綠能的研發盡一點心力。

我們成功的改裝偵測光照面積受光的均勻度、縮小抽氣乾燥暗箱層架及空間、整合光照偵測系統至第三代，終於創新研發出可同步以 Arduino C 語言程式取代三用電錶偵測光照時導電膜的電阻變化與光敏電阻串接的 1KΩ 電阻電壓分壓變化。

由投影片、天然染液、硝酸銀溶液、白膠、棉紗網格至交錯纏繞難導電的金屬網等材料，成功的研發出由數 MΩ 降低百萬倍至 10 Ω 左右電阻規格的奈米銀格柵導電膜，非常便宜又精細的製程，讓人人都能製備出導電膜成為可能。

## 壹、研究動機

去年學姐作品『光照無所遁形~奈米銀變色膜的研究』中，我們發現變色膜光照後透光率下降是因膜內的銀離子還原析出奈米銀原子的結果，而奈米銀原子易團聚致顏色由黃轉褐色，甚至顏色更深一些！我們翻閱自然第四冊金屬的特性可知，銀金屬可說是金屬內導電性最佳的金屬代表，如果它可以導電，那我們是否可以藉此做出導電薄膜或者導電凝膠呢？

但是銀是貴重金屬，如果整片薄膜含銀量愈高，成本一定也愈高，為了了解金屬的導電特性，老師在上科學課時，先讓我們用一般金屬線來測試，發現同材料的金屬，長度愈長、電阻愈大；線條愈粗，電阻則愈小；我們也發現，不同金屬材料的電阻大小也不一樣；自然第四冊非金屬材料中，有唯一的石墨碳棒是可導電的，我們也看了科普介紹石墨烯的文章，超酷的！

就在我們剪剪塗塗中，我們突然零光一閃，金屬網怎麼樣，讓銀析出由點連成線，線連成面不就是網了嗎？老師覺得我們的構想不錯，於是延伸性的主題方向確定了，不管成與不成，說做就做吧~加油！！

## 貳、研究目的

目的 一、模擬太陽光的室內光罩設計

目的 二、市售導電玻璃、導電膜與一般金屬及畫圖鉛筆的電阻比較

目的 三、以不同染劑與硝酸銀溶液凝膠製備奈米銀棉格柵的可行性研究

目的 四、以不同金屬粉末與硝酸銀溶液凝膠修飾奈米銀棉格柵的導電性研究

目的 五、以 33 目金屬網與硝酸銀溶液凝膠修飾奈米銀金屬網格柵的導電性及透光率研究

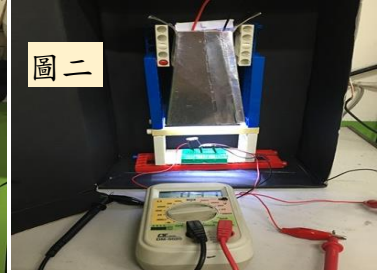
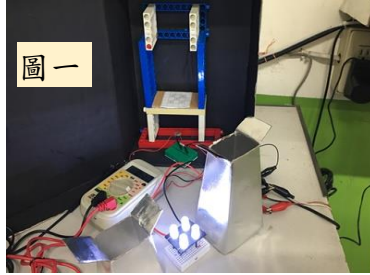
目的 六、光照不同天然染劑與硝酸銀金屬網製備奈米銀格柵的導電性及透光率研究

目的 七、光照不同金屬網格柵製備墨水樹天然染劑與硝酸銀導電膜的電阻變化及透光率比較

## 參、研究設備器材及自製裝置設計

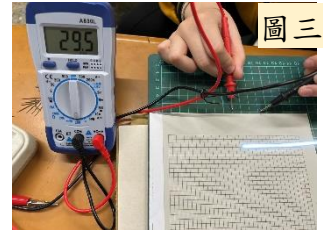
### 研究一

超亮白 3W LED 燈、3W 鋁基板白光 LED、麵包板、刀型針、12V 變壓器、六段電源變壓器、光敏電阻、1kΩ 電阻、自組多層中空智高積木置物架、數位型三用電表、白膠、回收厚紙板、銀色壁報紙、黑色壁報紙、白膠、小刀尺、自製截角長方柱及梯形體集光罩、自製導電薄膜照光系統如上圖一、自製光罩光敏電阻電壓測定儀如上圖二、紅黑鱷魚夾線、焊槍及焊錫、自製智高積木多層支撐架、西卡紙、黑色壁報紙



### 研究二

市售導電玻璃、導電薄膜、20#及 24#鐵線、20#及 24#鉛線、鋁線、合金線、1B~8B 鉛畫圖鉛筆、等距格板、數位型三用電表、導電薄膜 3cm 電阻測定圖如右圖三



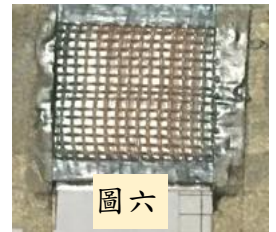
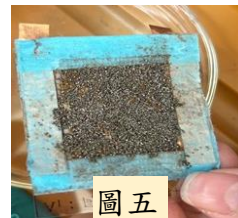
### 研究三

同研究一、電腦 Microsoft Word、繪製投影片框架、棉紗布、導電銀膠帶、銅膠帶、紙膠帶、剪刀、投影片、硝酸銀、墨水樹染劑、白膠、自製塑膠夾層、回收塑膠盒、去針的塑膠針筒、培養皿、50 mL 燒杯、100 mL 量瓶、電子秤、計時器、數位型三用電表、自製導電薄膜照光系統、自製不同層數的智高積木分層架及攜帶型抽氣暗箱如上圖四



### 研究四、

同研究三、鐵粉、鋅粉、護貝膠膜、自製金屬粉末與硝酸銀溶液凝膠棉格柵如右圖五



### 研究五

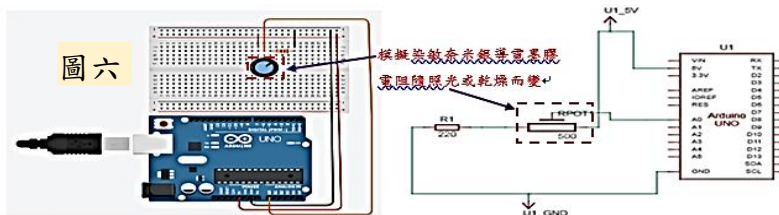
同研究一、研究三、硬墊板 33 目不銹鋼鐵網、金屬剪、自製奈米銀金屬網格柵如上圖六

### 研究六

同研究五、墨水樹染劑、胭脂蟲、紫膠蟲、自製染敏奈米銀金屬網格柵

### 研究七

混合白膠與天然墨水樹與 0.1M 硝酸銀溶液、以 thinkercad 繪製 Arduino 測量已知電阻與待測電阻電路圖(觀察染敏奈米銀導電墨膠電阻是否隨照光或乾燥而變) 如下圖六



同理，也可以光照導電膜透光後，偵測與光敏電阻串接的 1kΩ 電阻分壓變化比較出導電膜的透光度的效能。

創新研發能同時整合導電膜在照光時的電阻變化值，而又能同時進行照光強度不同，光敏電阻值也變為不同，藉此可偵測與之串接的一般電阻分電壓。整合偵測系統說明圖示如下：

<p>整合偵測系統支架設計第一代</p>	<p>整合偵測系統支架設計第二代</p>	<p>整合偵測系統支架設計第二代-2</p>	<p>整合偵測系統支架設計第二代-內部光罩導電膜照光電阻及透光度偵測</p>
<p>Inkscape 軟體繪製整合偵測系統支架第三代裝置的向量圖</p>	<p>整合偵測系統支架第三代裝置的示意圖-1</p>	<p>整合偵測系統支架第三代裝置的示意圖-2</p>	<p>整合偵測系統支架設計第三代雷切後裝置-1</p>
<p>整合偵測系統支架設計第三代雷切後裝置-2</p>	<p>整合偵測系統內乾濕導電膜暗箱外箱抽氣裝置</p>	<p>整合偵測系統外箱偵測模組設計第三代-俯視圖</p>	<p>整合偵測系統外箱偵測模組設計第三代-側視圖</p>
<p>乾濕式導電膜同時抽氣照光的電阻及透光度電壓偵測</p>	<p>左邊序列埠視窗讀取 Arduino COM3 (以電腦讀取的編序為主，不同電腦 COM 數不同)的電阻偵測</p>	<p>右邊序列埠視窗讀取 Arduino COM9 的電壓透光度偵測</p>	

# 肆、研究方法或過程

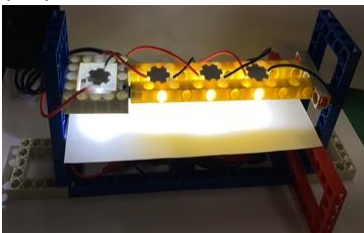
實驗架構圖示如下：



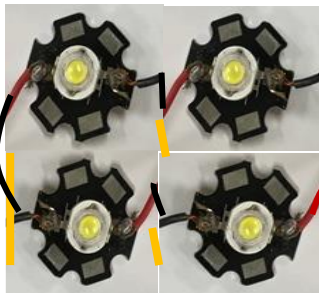
## 研究一、模擬太陽光的室內光罩設計

問題：想先做出 3\*3cm<sup>2</sup> 面積的奈米銀格柵，就需先設計出可均勻分佈光能的光罩裝置才行，所以，間距各 1 公分的上下各 2 個燈，共 4 個對稱燈是我們的想法。

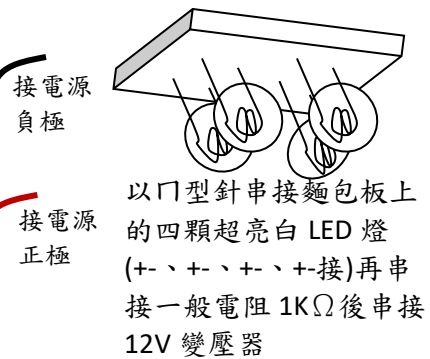
### (一)光源及電源



去年四顆 3W 鋁基板白光 LED 一字排開串接 12V 變壓器



今年四顆 3W 鋁基板白光 LED 排列方式



### (二)集光罩設計

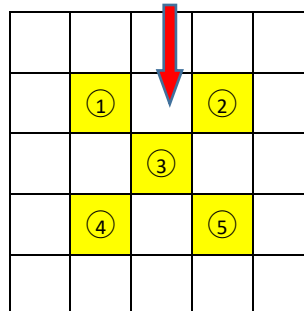
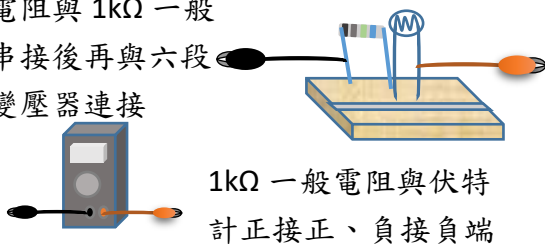
1.去蓋的正方形底 5\*5\*6cm<sup>3</sup> 長方柱體，貼上串接四顆 3W 鋁基板白光 LED 或四顆超亮白 LED 燈麵包板後，向下俯照，測量亮區上下左右及中間各 5 點下光敏電阻與 1kΩ 一般電阻串接後再與六段電源變壓器連接，量測 1kΩ 一般電阻與伏特計正接正、負接負端的電壓大小

2.同步步驟 1，集光罩改為截角梯形底為 4\*4cm<sup>2</sup> 正方形，高為 6 cm 截角梯形。

俯射光源照射光敏電阻後偵測 1kΩ 一般電阻的電壓比較

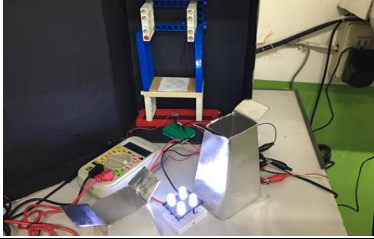
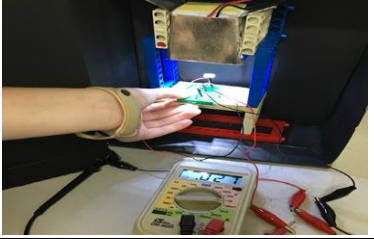
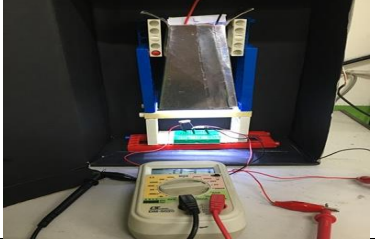
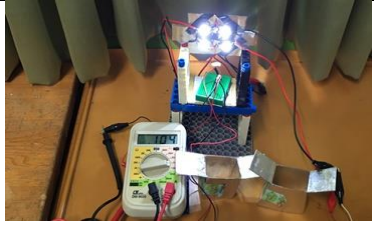
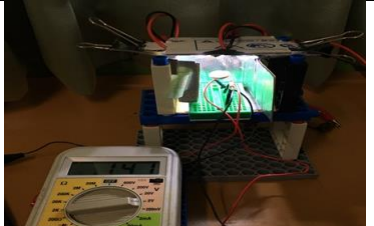

### (三)光區的光能分佈均勻度測試

光敏電阻與 1kΩ 一般電阻串接後再與六段電源變壓器連接



每個方格為 1\*1cm<sup>2</sup> 正方形，光敏電阻置放亮區的五個位置如黃色區塊

實作相片示例及說明：

		
14 顆 LED 燈截角梯形集光光能分佈均勻度測試材料	24 顆 LED 燈截角梯形 6cm 高集光光能分佈均勻度測試 電阻電壓 0.27V	34 顆 LED 燈截角梯形 12cm 高集光光能分佈均勻度測試 電阻電壓 0.31V
		
44 顆 LED 鋁基板集光光能分佈均勻度測試材料	54 顆 LED 鋁基板集光光能分佈均勻度測試 電阻電壓 1.41 V	6 導電玻璃的電阻測試 2cm 間距電阻 0.04Ω

實驗一、光源及光罩設計(一)

控制變因：同超亮白 LED 燈四顆、同 12V 變壓器電源、同麵包板插孔、間距及入射角、同光罩板置放位置及高度

操縱變因：截角梯形體光源反射罩不同高度

應變變因：光線間距、光區大小及光敏電阻與 2kΩ 一般電阻串接的分壓大小(v) (步驟略)

表一、四顆超亮白 LED 燈光源在不同高度截角梯形反射光罩下暗箱量測與光敏電阻串接的 2kΩ 一般電阻分壓大小比較

光源反射罩形狀	截角梯形體 12 cm 高					截角梯形體 9 cm 高				
	①	②	③	④	⑤	①	②	③	④	⑤
光敏電阻置放亮區的位置										
光敏電阻與 2kΩ 一般電阻串接的分壓大小(v)	4.98	5.12	5.02	4.71	4.91	4.94	4.86	4.98	5.05	5.00
	4.93	5.06	5.00	4.88	4.99	4.96	4.83	4.94	5.04	4.98
分壓平均值(v)	4.96 ± 0.11					4.96 ± 0.07				

操縱變因：截角梯形體光源反射罩不同高度(加黑色紙盒暗箱)

表二、四顆超亮白 LED 燈光源在不同高度截角梯形反射光罩下(加暗箱)量測與光敏電阻串接的 2kΩ 一般電阻分壓大小比較

光源反射罩形狀	截角梯形體 6 cm 高					截角梯形體 4.5 cm 高				
	①	②	③	④	⑤	①	②	③	④	⑤
光敏電阻置放亮區的位置										
光敏電阻與 2kΩ 一般電阻串接的分壓大小(v)	4.83	4.82	5.07	5.12	5.04	4.90	4.99	5.09	5.04	5.06
	4.81	4.88	5.10	5.08	4.99	5.04	4.89	5.07	5.04	5.00
分壓平均值(v)	4.97 ± 0.13					5.01 ± 0.07				

操縱變因：長方柱體光源反射罩不同高度

應變變因：光線間距、光區大小及光敏電阻與 2kΩ 一般電阻串接的分壓大小(v)

表三、四顆超亮白 LED 燈光源在不同高度長方柱體反射光罩下暗箱量測與光敏電阻串接的 2kΩ 一般電阻分壓大小比較

光源反射罩形狀	長方柱體 12 cm 高					長方柱體 9 cm 高				
光敏電阻置放亮區的位置	①	②	③	④	⑤	①	②	③	④	⑤
光敏電阻與 2kΩ 一般電阻串接的分壓大小(v)	4.83	4.80	4.93	4.98	4.92	5.00	5.03	5.03	4.98	4.90
	4.87	4.81	4.95	5.01	4.93	4.94	4.84	4.97	5.02	4.95
分壓平均值(v)	4.90 ± 0.07					4.97 ± 0.06				

操縱變因：截角梯形體光源反射罩不同高度(加黑色紙盒暗箱)

表四、四顆超亮白 LED 燈光源在不同高度長方柱體反射光罩下(加暗箱)量測與光敏電阻串接的 2kΩ 一般電阻分壓大小比較

光源反射罩形狀	長方柱體 6 cm 高					長方柱體 4.5 cm 高				
光敏電阻置放亮區的位置	①	②	③	④	⑤	①	②	③	④	⑤
光敏電阻與 2kΩ 一般電阻串接的分壓大小(v)	4.90	4.96	5.00	4.96	4.93	4.87	4.96	5.03	4.74	4.82
	4.91	4.99	5.00	4.90	4.93	4.86	4.98	4.99	4.71	4.88
分壓平均值(v)	4.95 ± 0.04					4.88 ± 0.11				

## 實驗二、光源及光罩設計(二)

控制變因：同四顆 3W 鋁基板四個、同 12V 變壓器電源、同麵包板插孔、間距及入射角、同光罩板置放位置及高度

操縱變因：截角梯形體光源反射罩不同高度

應變變因：光線間距、光區大小及光敏電阻與 2kΩ 一般電阻串接的分壓大小(v)

表五、四顆 3W 鋁基板 LED 燈光源在不同高度截角梯形反射光罩下暗箱量測與光敏電阻串接的 2kΩ 一般電阻分壓大小比較

光源反射罩形狀	截角梯形體 12 cm 高					截角梯形體 9 cm 高				
光敏電阻置放亮區的位置	①	②	③	④	⑤	①	②	③	④	⑤
光敏電阻與 2kΩ 一般電阻串接的分壓大小(v)	5.31	5.33	5.32	5.32	5.33	5.35	5.36	5.36	5.36	5.36
	5.32	5.32	5.33	5.32	5.33	5.36	5.35	5.37	5.34	5.35
分壓平均值(v)	5.32 ± 0.01					5.36 ± 0.01				

操縱變因：截角梯形體光源反射罩不同高度(加黑色紙盒暗箱)

表六、四顆 3W 鋁基板 LED 燈光源在不同高度截角梯形反射光罩下(加暗箱)量測與光敏電阻串接的 2kΩ 一般電阻分壓大小比較

光源反射罩形狀	截角梯形體 6 cm 高					截角梯形體 4.5 cm 高				
光敏電阻置放亮區的位置	①	②	③	④	⑤	①	②	③	④	⑤
光敏電阻與 2kΩ 一般電阻串接的分壓大小(v)	5.30	5.28	5.33	5.31	5.31	5.24	5.27	5.25	5.22	5.21
	5.31	5.30	5.33	5.30	5.31	5.22	5.23	5.26	5.23	5.22
分壓平均值(v)	5.31 ± 0.02					5.24 ± 0.02				

操縱變因：長方柱體光源反射罩不同高度

應變變因：光線間距、光區大小及光敏電阻與 2kΩ 一般電阻串接的分壓大小(v)

表七、四顆 3W 鋁基板白光 LED 光源在不同長方柱體反射光罩下量測與光敏電阻串接的 2kΩ 一般電阻分壓大小比較

光源反射罩形狀	長方柱體 12 cm 高					長方柱體 9 cm 高				
	①	②	③	④	⑤	①	②	③	④	⑤
光敏電阻置放亮區的位置										
光敏電阻與 2kΩ 一般電阻串接的分壓大小(v)	5.22	5.21	5.24	5.22	5.23	5.21	5.22	5.22	5.20	5.22
	5.22	5.23	5.23	5.24	5.23	5.21	5.23	5.25	5.24	5.24
分壓平均值(v)	5.23 ± 0.01					5.22 ± 0.02				

操縱變因：長方柱體光源反射罩不同高度(加黑色紙盒暗箱)

表八、四顆 3W 鋁基板 LED 燈光源在不同高度長方柱體反射光罩下(加暗箱)量測與光敏電阻串接的 2kΩ 一般電阻分壓大小比較

光源反射罩形狀	長方柱體 6 cm 高					長方柱體 4.5 cm 高				
	①	②	③	④	⑤	①	②	③	④	⑤
光敏電阻置放亮區的位置										
光敏電阻與 2kΩ 一般電阻串接的分壓大小(v)	5.16	5.15	5.15	5.16	5.13	4.96	4.95	4.98	4.98	4.98
	5.12	5.14	5.14	5.14	5.13	4.96	4.97	5.00	4.99	5.0
分壓平均值(v)	5.14 ± 0.01					4.98 ± 0.02				

## 研究二、市售導電玻璃、導電薄膜與一般金屬及畫圖鉛筆的電阻比較

問題：市售一片 5\*5cm<sup>2</sup> 的導電玻璃要價 290 元，實在太貴了，而且一不小心就破掉了，而市售一片導電膜也不便宜(A4 大小 1 張將近 400 元)，算是中價位，我們想知道這兩種與一般金屬及畫圖鉛筆的電阻的比較。

### 實驗三-1、不同導電材料的電阻比較

控制變因：同等距格板(每 1cm 單位)、同數位型電錶

操縱變因：不同間距的待測材質

應變變因：電阻大小(Ω)

表九、市售導電玻璃、導電薄膜與一般金屬及畫圖鉛筆的電阻大小比較

導電材料	導電玻璃	導電薄膜	20# 鐵線	24# 鐵線	20# 鉛線	24# 鉛線	鋁線	合金線	1B 鉛筆	4B 鉛筆	8B 鉛筆
1cm 電阻(Ω)	35	24.1	1.737	1.942	1.814	1.798	1.831	1.942	101000	42000	18000
2cm 電阻(Ω)	40	26.7	1.931	1.838	1.948	1.935	1.952	1.989	244000	39000	21000
3cm 電阻(Ω)	57	29.5	1.942	1.886	1.989	1.967	1.987	1.955	827000	47000	161000

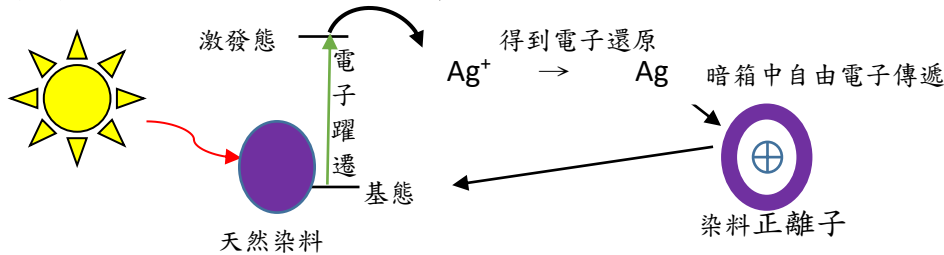


### 研究三、以不同染劑與硝酸銀溶液凝膠製備奈米銀棉格柵的可行性研究

想法：去年學姐作品『光照無所遁形~奈米銀變色膜的研究』中，我們發現變色膜光照後透光率下降是因膜內的銀離子還原析出奈米銀原子的結果，而奈米銀原子易團聚致顏色由黃轉褐色，甚至顏色更深一些！我們翻閱自然第四冊金屬的特性可知，銀金屬可說是金屬內導電性最佳的金屬代表，如果它可以導電，那我們是否可以藉此做出導電膜或者導電凝膠呢？

問題：我們不知道奈米銀變色膜的導電性怎麼樣，這些分佈在凝膠的點狀奈米銀如果再連成線或連成網，是否可以增加其導電性使電阻變小？

去年創新的染敏奈米銀變色膜設計概念



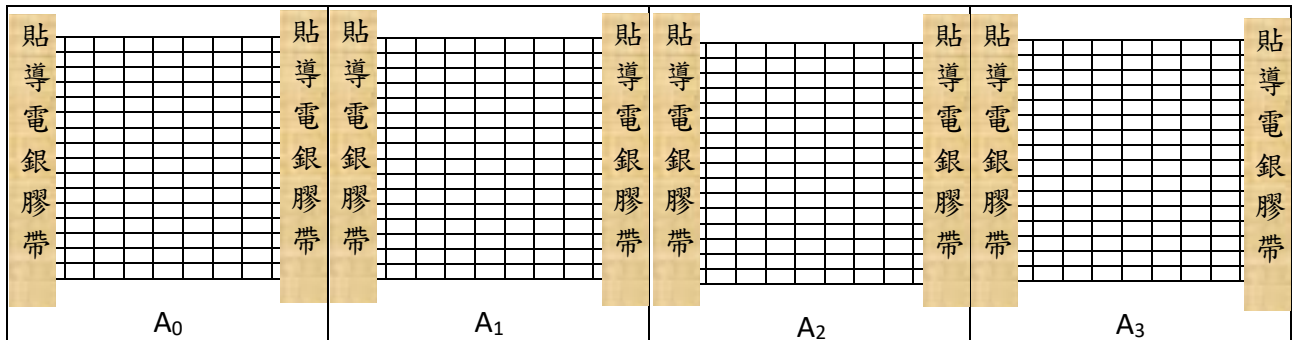
製程中的能階概念及電子傳遞過程：

1. 染料分子(Dye)吸收光能後，染料上的電子會從基態躍升至不穩定的激發態(Dye\*)  
光激發反應(Photoexcitation)： $\text{Dye(基態)} + h\nu \rightarrow \text{Dye}^*$  (激發態)
2. 激發態的染料分子(Dye\*)可將激發態電子迅速導入  $\text{Ag}^+$  中，使  $\text{Ag}^+$  得到電子而還原，而失去電子的染料分子則為氧化型態的染料正離子(Dye<sup>+</sup>)：  
 $\text{Dye}^* + \text{Ag}^+ \rightarrow \text{Dye}^+ + \text{Ag}$
3. 暗箱中，Ag 奈米銀原子傳遞自由電子給染料正離子而氧化，染料正離子得到電子回至基態： $\text{Ag} \rightarrow \text{Ag}^+ + e^-$  而  $\text{Dye}^+ + e^- \rightarrow \text{Dye(基態)}$
4. 如前敘述，奈米銀安定性不佳，易團聚。所以，均勻地分散奈米銀是製作上的最大課題。我們的想法是：為了避免奈米銀原子堆積成團，可以用白膠稀釋劑(水相)或保麗龍膠稀釋劑(酒精溶劑)為分散劑，用天然染料吸收陽光的紫外線，使染料上的電子躍遷至銀離子上而還原出奈米銀原子，凝膠膜照光下即可由原來的透明( $\text{Ag}^+$ 離子態)變成半透明或不透明(奈米銀原子析出)的變色膜。

### 實驗四、光照墨水樹染劑與硝酸銀製備奈米銀棉格柵的實驗

奈米銀棉格柵製作步驟：

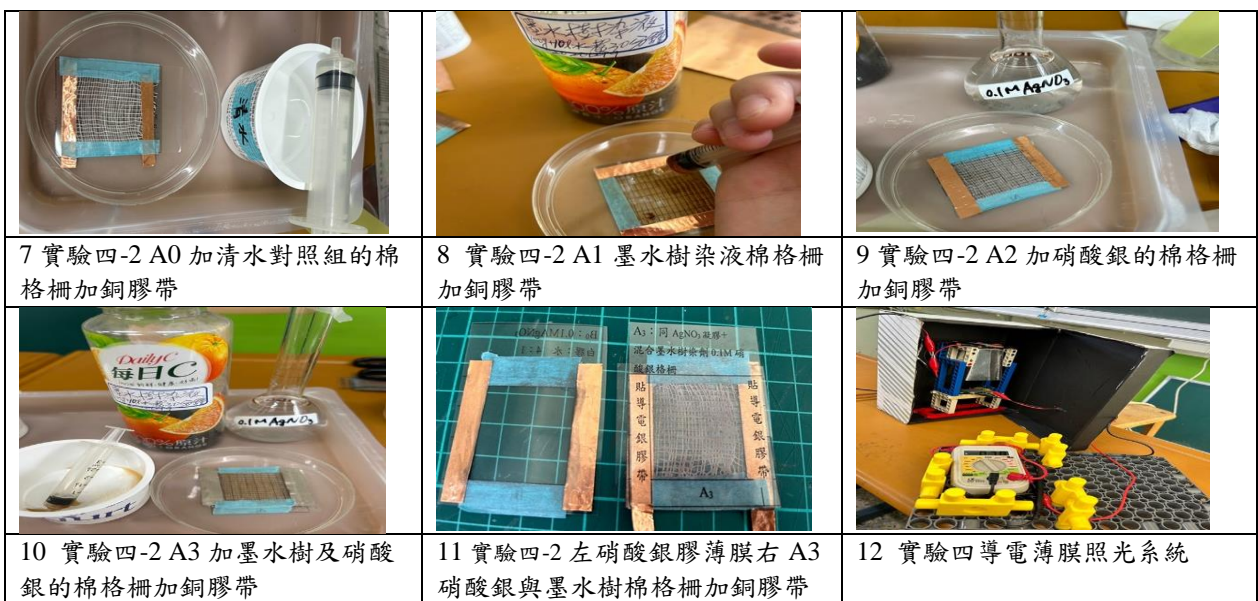
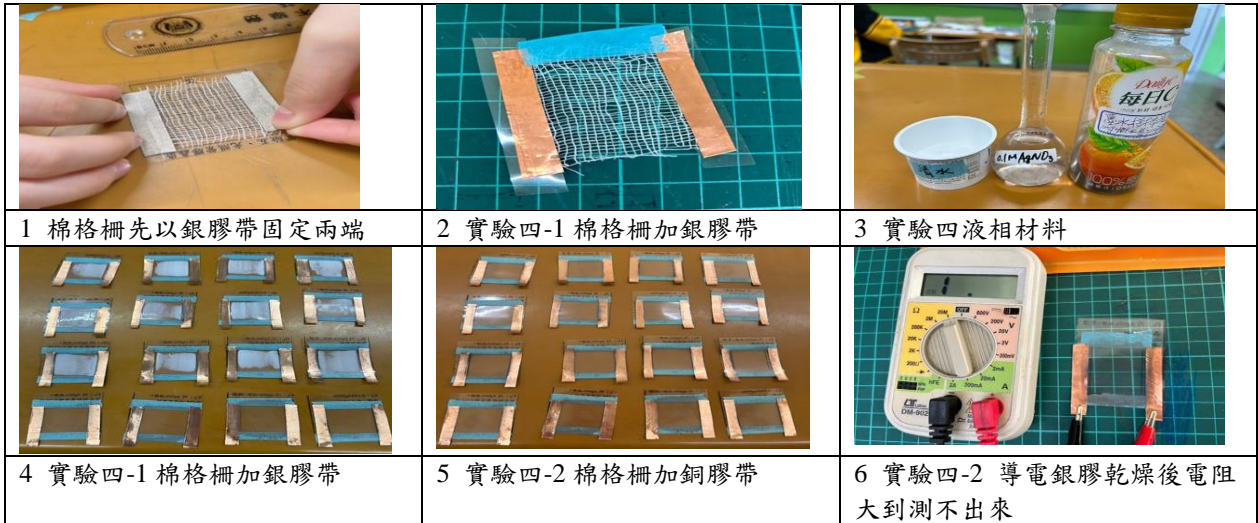
1. 棉紗布裁剪成  $4 \times 4 \text{cm}^2$  的大小，左右以導電銀膠帶黏貼。
2. 繪製投影片框架，再於棉紗布左右兩側黏貼導電銀膠帶如下圖。



3. 將黏貼導電銀膠帶內約  $3 \times 3$  棉紗布先浸在清水中 1 分鐘後以特製的夾層將過量的水擰入原水杯內(編號 A<sub>0</sub> 備用)。
4. 將黏貼導電銀膠帶內約  $3 \times 3$  棉紗布先浸在墨水樹染劑中 1 分鐘後以特製的夾層將過

量的染液擰入原染劑杯內(編號 A<sub>1</sub> 備用)。

- 將黏貼導電銀膠帶內約 3\*3 棉紗布先浸在 0.1M $\text{AgNO}_3$  溶液中 1 分鐘後以特製的夾層將過量的溶液擰入原染劑杯內(編號 A<sub>2</sub> 備用)。
- 將黏貼導電銀膠帶內約 3\*3 棉紗布先浸在 0.1M $\text{AgNO}_3$  與墨水樹染劑 1 : 1 溶液中 1 分鐘後以特製的夾層將過量的溶液擰入原溶液杯內(編號 A<sub>3</sub> 備用)。
- 投影片 3\*3 cm<sup>2</sup> 框架內先塗滿 0.1M $\text{AgNO}_3$  凝膠，趁膠體未乾時，將步驟 3~6 的紗布棉格柵小心的放置在如下圖的凝膠格內。



- 以空白投影片蓋住上述格柵，再用玻棒以滾壓方式來回三次後移開。
- 趁凝膠未乾時，以數字型電錶正負夾頭一一置放在 A<sub>0~3</sub> 格柵兩端的導電銀膠帶上，連測電阻三次，記錄於下表並取平均值。
- 將步驟 9 分別以研究一模擬太陽光的室內光罩設計裝置照光 1 分鐘後測電阻，再續照 1 分鐘後測電阻，累計共 3 分鐘，比較各電阻值大小如表十。

#### 實驗四-2、硝酸銀凝膠+奈米銀棉格柵 A<sub>0~3</sub>(導電銅膠帶)

- A<sub>0~3</sub> 格柵兩端導電銀膠帶改為導電銅膠帶，同步驟 9、10 比較各電阻值大小如表十一。

#### 研究四、以不同金屬粉末與硝酸銀溶液凝膠修飾奈米銀棉格柵的導電性研究

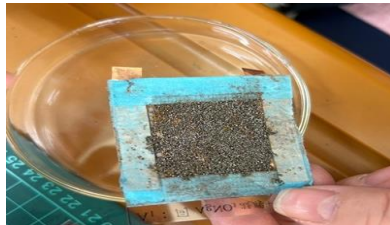
問題：我們查網研究一些參考資料時發現，成為負極導電膜的材料不單純只有一種金屬，如果我們利用元素活性大於銀的金屬來修飾奈米銀格柵，會不會使其導電性增加呢？

#### 實驗五、鐵粉與硝酸銀溶液凝膠製備奈米銀棉格柵的實驗

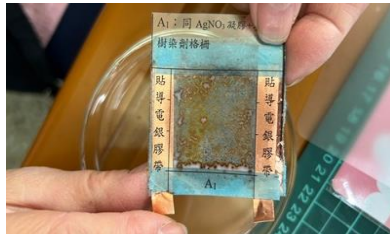
實驗步驟：

1. 棉紗布裁剪成 $4 \times 4 \text{ cm}^2$ 的大小，左右以導電銅片條黏貼，上下以紙膠帶封住棉紗裁剪端。
2. 將未護貝的護貝膠膜放到硬墊板上，加1克鐵粉置入護貝膠膜內，以硬墊板均勻撥平備用。
3. 將黏貼導電銅片條內約 $3 \times 3$ 棉紗布先浸在 $0.1 \text{ M AgNO}_3$ 溶液中1分鐘後以特製的夾層將過量的 $\text{AgNO}_3$ 溶液擰入原杯內(編號 $E_0$ ) 備用。
4. 將步驟1紗網平鋪於培養皿中，均勻滴入 $0.1 \text{ M AgNO}_3$ 溶液，使棉紗吸附溶液1分鐘後呈垂直狀，使多餘溶液因重力而自然落下。將步驟3吸附 $0.1 \text{ M AgNO}_3$ 溶液的棉紗網格置入步驟2中，膠膜上下片蓋住後，以玻棒前後左右各來回滾壓三次後，再翻面操作之。
5. 提起紗布後垂直抖動三次，使過量的金屬粉因重力而掉回鐵粉回收槽內(編號 $E_1$ ) 備用。

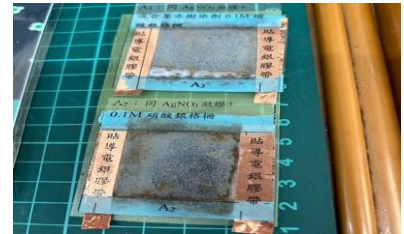
同步驟4-5，製作第二片編號 $E_2$ 及第三片編號 $E_3$ 。



實驗五-1加了鐵粉的硝酸銀棉格柵加銅膠帶



實驗五-2加了鐵粉的墨水樹棉格柵和硝酸銀凝膠加銅膠帶



實驗五-3加了鐵粉的 $A_2$ 和 $A_3$ 硝酸銀凝膠加銅膠帶

6. 投影片 $3 \times 3 \text{ cm}^2$ 框架內先塗滿 $0.1 \text{ M AgNO}_3$ 凝膠，趁膠體未乾時，將步驟3~6的紗布棉格柵小心的放置在如下圖的凝膠格內。
7. 凝膠未乾時，以數字型電錶正負夾頭一一置放在 $E_0 \sim E_3$ 格柵兩端的導電銀膠帶上，連測電阻三次，記錄於下表並取平均值。
8. 將步驟8別以研究一模擬太陽光的室內光罩設計裝置照光1分鐘後測電阻，再續照1分鐘後測電阻，累計共3分鐘，比較各電阻值大小如表十二。

#### 實驗六、鋅粉與硝酸銀溶液凝膠製備奈米銀棉格柵的實驗

實驗步驟：

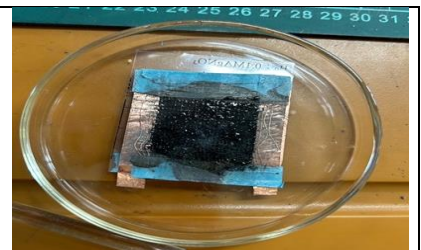
1. 同實驗五步驟 1~9，將鐵粉改為鋅粉操作之。
2. 比較 $F_1 \sim F_3$ 各電阻值大小 (同實驗五) 如表十三-1 及表十三-2。



實驗六-1 鋅粉會結塊需先過篩



實驗六-2 過篩後鋅粉先鋪平，蓋上 $F_1 \sim F_3$ 棉格柵後以投影片蓋住，以玻棒來回滾壓數次



實驗六-3 加了鋅粉的硝酸銀棉格柵加銅膠帶

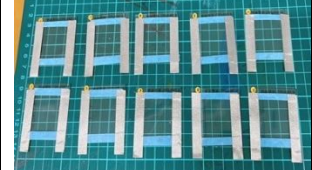

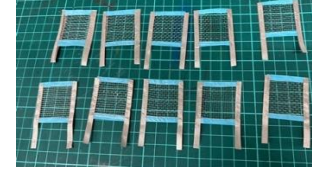
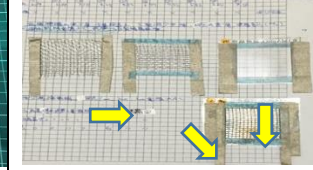




## 研究五、以 33 目金屬網與硝酸銀溶液凝膠修飾奈米銀金屬網格柵的導電性及透光率研究

問題：投影片、棉紗網格、金屬粉末與天然染液、硝酸銀凝膠僅能製備出幾  $M\Omega$  電阻的導電膜，安裝紗窗的金屬網可不可以？我們發現金屬網測不出電阻，表示電子無法在這交錯纏繞的金屬網上自由移動，如何整合成電子可連續移動的導電網是最大的挑戰。

實驗七、不銹鋼鐵網與硝酸銀溶液凝膠製備奈米銀金屬網格柵的實驗

實驗步驟：

1. 把市售的金屬網裁剪成長、寬各約  $4*4\text{ cm}^2$  共 10 片，左右兩側以導電銀膠黏貼並包邊，上下以紙膠帶封住金屬網裁剪端，每片均先貼上編號並量測電阻大小備用。
2. 準備投影片  $4*4\text{ cm}^2$  方格，左右兩側以導電銀膠帶黏貼，並在  $3*3\text{ cm}^2$  框架內先塗滿  $0.1M\text{AgNO}_3$  凝膠，需將框架與銀膠帶間的空隙填滿，準備多片，每片均先貼上編號並量測電阻大小，乾燥後亦量測電阻大小備用。
3. 將步驟 2 乾燥後的凝膠膜，再塗上一層  $0.1M\text{AgNO}_3$  凝膠膜，然後將步驟 1 的金屬網輕輕蓋上，以乾淨的小塑膠背均勻的下壓金屬網，儘量減少網與底層膠的空隙後，再塗上一層  $0.1M\text{AgNO}_3$  凝膠膜，使金屬網上下層均有接觸到  $0.1M\text{AgNO}_3$  凝膠，準備多片為  $H_0$ 。
4. 同步驟 3，趁膠體未乾時，測以數字型電錶正負夾頭置放在  $H_0$  格柵兩端的導電銀膠帶上，連測電阻三次，記錄於下表並取平均值，凝膠乾燥後亦再測一次電阻對照之。

			
投影片上兩側加銀膠條上下加絕緣貼布後再塗第一層硝酸銀凝膠膜	測濕電阻後置於自製不同層數的分層架及攜帶型抽氣暗箱中遮光乾燥	金屬網格兩側加銀膠條上下加絕緣貼布後備用	不銹鋼鐵網與硝酸銀溶液凝膠製備奈米銀格柵的簡易製程
			
不銹鋼金屬網格柵加第一層硝酸銀凝膠膜 $H_0$	在金屬網格柵上加第二層硝酸銀凝膠膜 $H_1$	第二層凝膠膜乾燥後加第三層硝酸銀凝膠膜 $H_2$	第三層凝膠膜乾燥後加第四層硝酸銀凝膠膜 $H_3$

5. 以四顆 3W 鋁基板反射罩光源的光照箱設計照光 1 分鐘後測電阻，再續照 1 分鐘後測電阻，累計共 3 分鐘，比較各電阻值大小。
6. 同步驟 3 乾燥後的硝酸銀凝膠膜，再塗上第二層  $0.1M\text{AgNO}_3$  凝膠膜為  $H_1$ ，同步驟 4、5 測乾、濕及照光後的電阻。再塗上第三層  $0.1M\text{AgNO}_3$  凝膠膜為  $H_2$ ，同步驟 4、5 測乾、濕及照光後的電阻。再塗上第四層  $0.1M\text{AgNO}_3$  凝膠膜為  $H_3$ ，同步驟 4、5 測乾、濕及照光後的電阻，以上記錄如表十六。

實驗八、自製奈米銀金屬網格柵的透光率的檢測與分析

1. 將自製奈米銀格柵  $H_0 \sim H_3$  配方膠膜置於改良去年自製的暗箱乾燥後，以改良去年自製的光罩光敏電阻吸光儀偵測一般電阻的分電壓，記錄為編號 A，連測三次。
2. 將步驟 1 的格柵膠膜移置於如實驗二有四顆 3W 鋁基板反射罩光源的光照箱設計照光一分鐘後，以光罩光敏電阻吸光儀偵測一般電阻的分電壓，記錄為編號  $B_1$ ，連測三次。
3. 同步驟 2 的格柵膠膜移置於光照箱照光二分鐘或三分鐘後，以光罩光敏電阻吸光儀偵測一般電阻的分電壓，記錄為編號  $B_2$  或  $B_3$ ，連測三次，記錄如表十七。
4. 比較無金屬網格柵  $H_0 \sim H_3$  硝酸銀膠膜對照組的光罩光敏電阻吸光儀偵測一般電阻的分電壓並計算其透光率如表十八。

## 研究六、光照不同天然染劑與硝酸銀金屬網製備奈米銀金屬網格柵的導電性及透光率研究

問題：以天然染劑修飾硝酸銀金屬網製備奈米銀格柵可為製備染敏太陽能薄膜電池負極材料做準備，所以，我們想比較不同天然染劑製備奈米銀格柵的導電性及透光率差異

### 實驗九、光照墨水樹染劑與硝酸銀金屬網製備奈米銀格柵的實驗

實驗步驟：

- 1.同實驗七的步驟裁剪準備金屬網並包邊備用。
- 2.配製 0.1M $\text{AgNO}_3$  凝膠 10 克，加入墨水樹染劑 1mL，混合均勻後為配方膠。
- 3.同實驗七的步驟 2 準備基本的第一層 0.1M $\text{AgNO}_3$ +墨水樹凝膠膜，以三用電錶測量配方膠膜乾濕電阻大小後備用。
- 4.將步驟 3 乾燥後的硝酸銀+墨水樹凝膠膜，再塗上一層同配方的凝膠膜，然後將步驟 1 的金屬網輕輕蓋上，以乾淨的小塑膠背均勻的下壓金屬網，儘量減少網與底層膠的空隙後，再塗上一層同配方的凝膠膜，使金屬網上下層均有均勻接觸到配方膠，準備多片為  $I_0$ 。
- 5.同步驟 4，趁膠體未乾時，測以數字型電錶正負夾頭置放在  $I_0$  格柵兩端的導電銀膠帶上，連測電阻三次，記錄於下表並取平均值。
- 6.以模四顆 3W 鋁基板反射罩光源的光照箱設計照光 1 分鐘後測電阻，再續照 1 分鐘後測電阻，累計共 3 分鐘，比較各電阻值大小如表十七。
- 7.同步驟 3 乾燥後的硝酸銀+墨水樹凝膠膜，再塗上第二層~第四層硝酸銀+墨水樹凝膠膜為  $I_1 \sim I_3$ ，同步驟 5、6 測乾、濕及照光後的電阻。

### 實驗十、自製奈米銀格柵墨水樹配方膠膜的透光率的檢測與分析

實驗步驟：

- 1.將自製奈米銀格柵  $I_0 \sim I_3$  配方膠膜置於改良去年自製的暗箱乾燥後，以改良去年自製的光罩光敏電阻吸光儀偵測一般電阻的分電壓，記錄為編號  $A_2$ ，連測三次。
- 2.將步驟 1 的格柵膠膜移置於如實驗二有四顆 3W 鋁基板反射罩光源的光照箱設計照光一分鐘後，以光罩光敏電阻吸光儀偵測一般電阻的分電壓，記錄為編號  $B_{2-1}$ ，連測三次。
- 3.同步驟 2 的格柵膠膜移置於光照箱照光二分鐘或三分鐘後，以光罩光敏電阻吸光儀偵測一般電阻的分電壓，記錄為編號  $B_{2-2}$  或  $B_{2-3}$ ，連測三次。

### 實驗十一、光照紫膠蟲染劑與硝酸銀金屬網製備染敏奈米銀格柵的實驗

實驗步驟：

- 1.同實驗七的步驟裁剪準備金屬網並包邊備用。
- 2.配製 0.1M $\text{AgNO}_3$  凝膠 10 克，加入紫膠蟲染劑 1mL，混合均勻後為配方膠。
- 3.同實驗七的步驟 2 準備基本的第一層 0.1M $\text{AgNO}_3$ +紫膠蟲凝膠膜，以三用電錶測量配方膠膜乾濕電阻大小後備用。
- 4.將步驟 3 乾燥後的硝酸銀+紫膠蟲凝膠膜，再塗上一層同配方的凝膠膜，然後將步驟 1 的金屬網輕輕蓋上，以乾淨的小塑膠背均勻的下壓金屬網，儘量減少網與底層膠的空隙後，再塗上一層同配方的凝膠膜，使金屬網上下層均有均勻接觸到配方膠。
- 5.同步驟 4，趁膠體未乾時，測以數字型電錶正負夾頭置放在  $J_0$  格柵兩端的導電銀膠帶上，連測電阻三次，記錄於下表並取平均值。
- 6.以模四顆 3W 鋁基板反射罩光源的光照箱設計照光 1 分鐘後測電阻，再續照 1 分鐘後測電阻，累計共 3 分鐘，比較各電阻值大小。

7. 同步驟 3 乾燥後的硝酸銀+紫膠蟲凝膠膜，再塗上第二層~第四層硝酸銀+紫膠蟲凝膠膜為  $J_1 \sim J_3$ ，同步驟 5、6 測乾、濕及照光後的電阻。

#### 實驗十二、自製染敏奈米銀格柵紫膠蟲配方膠膜的透光率的檢測與分析

##### 實驗步驟：

1. 將自製奈米銀格柵  $J_0 \sim J_3$  配方膠膜置於改良去年自製的暗箱乾燥後，以改良去年自製的光罩光敏電阻吸光儀偵測一般電阻的分電壓，記錄為編號  $A_3$ ，連測三次。
2. 將步驟 1 的格柵膠膜移置於如實驗二有四顆 3W 鋁基板反射罩光源的光照箱設計照光一分鐘後，以光罩光敏電阻吸光儀偵測一般電阻的分電壓，記錄為編號  $B_{3-1}$ ，連測三次。
3. 同步驟 2 的格柵膠膜移置於光照箱照光二分鐘或三分鐘後，以光罩光敏電阻吸光儀偵測一般電阻的分電壓，記錄為編號  $B_{3-2}$  或  $B_{3-3}$ ，連測三次。

#### 實驗十三、光照胭脂蟲染劑與硝酸銀金屬網製備奈米銀格柵的實驗

##### 實驗步驟：

1. 同實驗七的步驟裁剪準備金屬網並包邊備用。
2. 配製 0.1M  $AgNO_3$  凝膠 10 克，加入胭脂蟲染劑 1mL，混合均勻後為配方膠。
3. 同實驗七的步驟 2 準備基本的第一層 0.1M  $AgNO_3$ +胭脂蟲凝膠膜，以三用電錶測量配方膠膜乾濕電阻大小後備用。
4. 將步驟 3 乾燥後的硝酸銀+胭脂蟲凝膠膜，再塗上一層同配方的凝膠膜，然後將步驟 1 的金屬網輕輕蓋上，以乾淨的小塑膠背均勻的下壓金屬網，儘量減少網與底層膠的空隙後，再塗上一層同配方的凝膠膜，使金屬網上下層均有均勻接觸到配方膠。
5. 同步驟 4，趁膠體未乾時，測以數字型電錶正負夾頭置放在  $K_0$  格柵兩端的導電銀膠帶上，連測電阻三次，記錄於下表並取平均值。
6. 以模四顆 3W 鋁基板反射罩光源的光照箱設計照光 1 分鐘後測電阻，再續照 1 分鐘後測電阻，累計共 3 分鐘，比較各電阻值大小。
7. 同步驟 3 乾燥後的硝酸銀+胭脂蟲凝膠膜，再塗上第二層~第四層硝酸銀+胭脂蟲凝膠膜為  $K_1 \sim K_3$ ，同步驟 5、6 測乾、濕及照光後的電阻。

#### 實驗十四、自製奈米銀格柵胭脂蟲配方膠膜的透光率的檢測與分析

##### 實驗步驟：

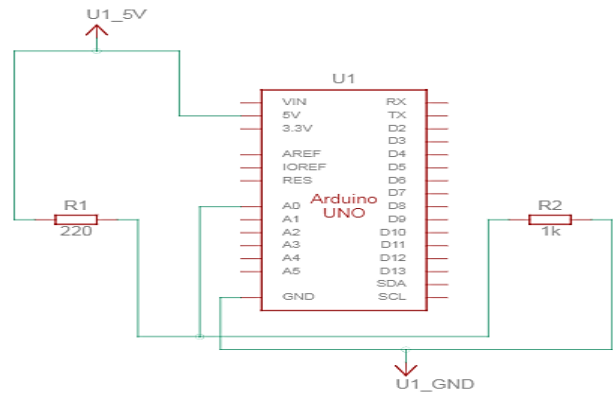
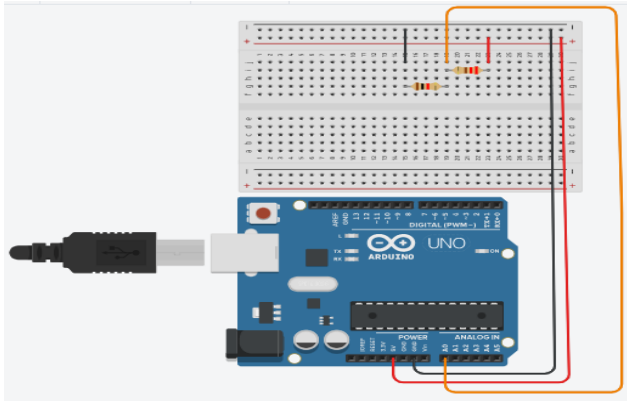
1. 將自製奈米銀格柵  $K_0 \sim K_3$  配方膠膜置於改良去年自製的暗箱乾燥後，以改良去年自製的光罩光敏電阻吸光儀偵測一般電阻的分電壓，記錄為編號  $A_4$ ，連測三次。
2. 將步驟 1 的格柵膠膜移置於如實驗二有四顆 3W 鋁基板反射罩光源的光照箱設計照光一分鐘後，以光罩光敏電阻吸光儀偵測一般電阻的分電壓，記錄為編號  $B_{4-1}$ ，連測三次。
3. 同步驟 2 的格柵膠膜移置於光照箱照光二分鐘或三分鐘後，以光罩光敏電阻吸光儀偵測一般電阻的分電壓，記錄為編號  $B_{4-2}$  或  $B_{4-3}$ ，連測三次。

## 研究七、光照不同金屬網格柵製備墨水樹天然染劑與硝酸銀導電膜的電阻變化及透光率比較

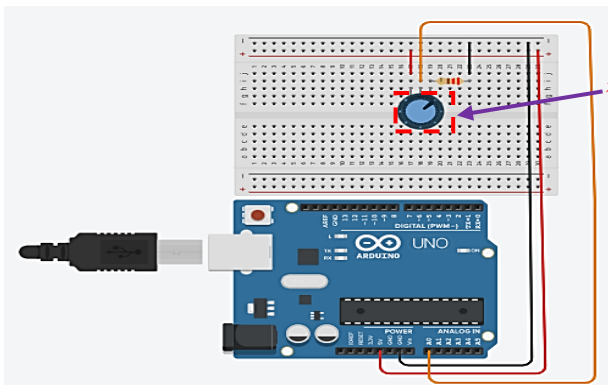
問題：我們想創新研發能同時整合導電膜在照光時的電阻變化值，而又能同時進行導電膜照光強度不同，光敏電阻值也變為不同，且藉由與光敏電阻串接的 1KΩ 電阻分壓變化比較出導電膜的透光度的效能。

### 實驗十五、高低電阻偵測校正

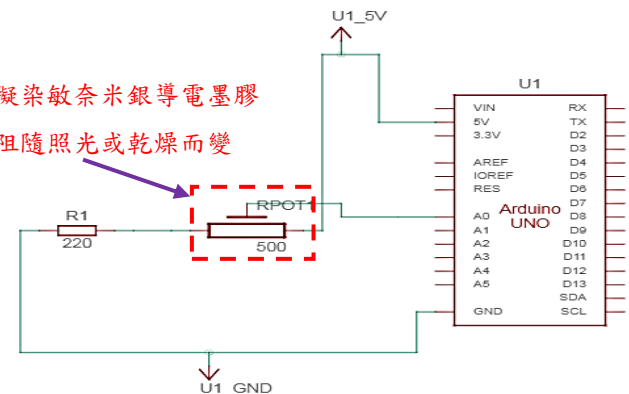
以 thinkercad 繪製取代三用電錶的 Arduino 電路和程式確認與校正電路架構圖：



Arduino 測量已知電阻 1KΩ 與待測電阻電壓(染敏奈米銀導電膜電阻隨照光或乾燥而改變透光率)的模板及電路圖



模擬染敏奈米銀導電墨膠  
電阻隨照光或乾燥而變



### 高低電阻的校正步驟：

1. 選用三種已知電阻值  $R_s (=R_2)$  做校正 100Ω，先用 47 Ω 當待測電阻、再依序換接 220 Ω、1kΩ 為  $R_1$ ，由程式運算出數值與實際電阻做對照並校正。
2. 由控制程式指令 `analogRead(A0)` 可讀取到的 A0 輸入的信號數值，但不是實際的電壓值，而是 0-1023 間的數值。經下列分析即可分別獲得實際電壓值  $V_{R_s}$ ， $I$ ， $V_{R_1}$  和  $R_1$  值  
其中校正電阻的電壓值  $V_{R_s} = A \# \text{測量值} * 5 \text{ V} / 1023$ ，因電路為串聯電路，所以，  
總電流=任一分電流的值  $I = I_s = V_{R_s} / R_s$ ；待測電壓  $V_{R_1} = 5 - V_{R_s}$  再利用歐姆定律，  
待測電阻  $R_1 = \frac{5 - V_{R_s}}{I} = \frac{5 - V_{R_s}}{V_{R_s}} R_s$
3. 重覆步驟 1-2，將已知電阻  $R_s$  換成高電阻 1000Ω，再用 100Ω 當待測電阻、再依序換接 4700 Ω、10000Ω 為  $R_1$ ，由程式運算出數值與實際電阻做對照並校正。

### 待測導電膜電阻及與光敏電阻串接一般電阻分電壓偵測步驟：

操作步驟：

1. 使用麵包板將已知電阻  $R_2$  100Ω 與待測電阻染敏金屬格柵導電膜  $R_1$  串聯，兩者與 arduino UNO 模組連接的圖示如上電路架構圖所示。
2. 分壓電路所需的定電壓源由 Arduino 模組左側的 5V 定電壓輸出端提供； $V_{R_2}$  則由

A<sub>0</sub> 類比輸入端每 3 秒讀取信號。不同電腦 COM 數不同，需先校正。

電阻值測量程式(47Ω 先當待測電阻，再改為 220Ω，1000Ω，以此類推)

<pre>int Rs = 100; //已知電阻 float AnalogValue; float Voltage_Value; float Current_of_Loop; float RDUT; void setup() { Serial.begin(9600); } void loop() {   AnalogValue=analogRead(A0);   Voltage_Value=AnalogValue*5/1023;   Current_of_Loop =Voltage_Value/Rs;</pre>	<pre>RDUT=(5 - Voltage_Value)/Current_of_Loop;   Serial.print(AnalogValue); Serial.print("\t");   Serial.print(Voltage_Value, 5); Serial.print("\t");   Serial.print(Current_of_Loop, 6);   Serial.print("\t");   Serial.print(RDUT); Serial.println(" ohm");   delay(3000); }</pre>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

與光敏電阻串接一般電阻分電壓測量程式(100Ω 先當待測電阻，再改為 4700Ω…以此類推)

<pre>int Rs = 1000; //已知電阻 float AnalogValue; float Voltage_Value; float Current_of_Loop; float RDUT; void setup() { Serial.begin(9600); } void loop() {   AnalogValue=analogRead(A0);   Voltage_Value=AnalogValue*5/1023;   Current_of_Loop =Voltage_Value/Rs;</pre>	<pre>RDUT=(5 - Voltage_Value)/Current_of_Loop;   Serial.print(AnalogValue); Serial.print("\t");   Serial.print(Voltage_Value, 5); Serial.print("\t");   Serial.print(Current_of_Loop, 6);   Serial.print("\t");   Serial.print(RDUT); Serial.println(" ohm");   delay(3000); }</pre>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

3.依序下載序列埠視窗讀數至 Excel 檔編列序號，並算出平均值及標準差。綜合各金屬網目作圖比較。

### 實驗十六、不同金屬網目的電阻比較

實驗步驟：

- 1.裁剪 33 目~150 目不銹鋼網並包銀膠帶邊備用。
- 2.使用高電阻 1000Ω 為已知電阻  $R_0$ ，以紅黑鱷魚夾夾住步驟 1 待測電阻兩端的銀膠帶，紅線夾杜邦線插 arduino UNO 的 5V 腳位、黑線夾杜邦線插 arduino UNO 的接地腳位，使用麵包板將已知電阻  $R_2$  1000Ω 與待測電阻  $R_1$  串聯。
- 3.核對 arduino 板的 COM 數，啟動上傳電阻值測量程式，依序下載序列埠視窗讀數至 Excel 檔編列序號，並算出電阻的平均值及標準差。

### 實驗十七、不同金屬網目製備墨水樹染敏金屬網格柵硝酸銀導電膜的電阻比較

實驗步驟：

- 1.如前面實驗，製備 33 目~150 目不銹鋼網金屬格柵墨水樹染敏硝酸銀導電膜。
- 2.使用低電阻 100Ω 為已知電阻  $R_0$ ，分別依序串接 33 目或 40-150 目的染敏硝酸銀導電膜，同實驗十六，每 3 秒偵測 33 目~150 目金屬格柵墨水樹染敏硝酸銀導電膜的電阻的大小，連續偵測 3 分鐘。

### 實驗十八、不同金屬網目製備墨水樹染敏金屬網格柵硝酸銀導電膜的透光率比較

實驗步驟：

- 1.如實驗十七，將光照墨水樹染敏金屬網格柵硝酸銀導電膜下，與感光光敏電阻串接的 1KΩ 供 arduino 板的 5V 腳位(紅線)、接地腳位(黑線)；另一組 5V 及接地腳位則接待測電阻的電壓，光敏電阻與 1KΩ 串接處則以黃色訊號線接 A<sub>0</sub> 腳位。



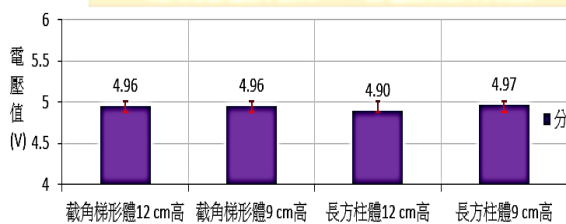
2. 先做塗佈第一層或第二層硝酸銀+墨水樹凝膠，無不銹鋼鐵網，光照3分鐘時間下，每3秒記錄光敏電阻感光後偵測串接一般1K電阻的電壓值比較(對照組)
3. 依序操作比較33-150目不銹鋼鐵網塗佈第一層硝酸銀+墨水樹凝膠製備墨水樹染敏奈米銀格柵的導電膜，光照3分鐘時間下，光敏吸光後偵測串接一般1KΩ電阻的電壓值
4. 將步驟3的電壓值除以步驟2的電壓值，可推知33-150目不銹鋼鐵網塗佈第一層硝酸銀+墨水樹凝膠製備墨水樹染敏奈米銀格柵的導電膜，光照3分鐘時間下，光敏吸光後偵測串接一般1KΩ電阻的透光率比較。

## 伍、研究結果與討論

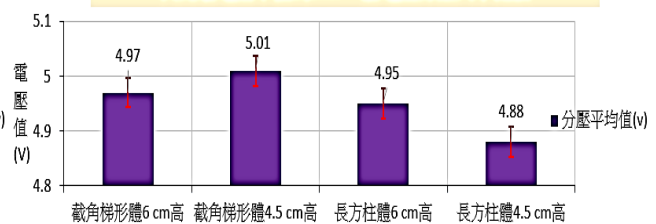
### 一、模擬太陽光的室內光罩設計

#### 1. 實驗一、實驗二光源及光罩設計

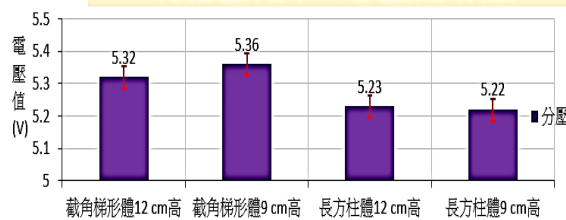
圖一、四顆超亮白LED燈光源在不同高度反射光罩下無暗箱量測與光敏電阻串接的2kΩ一般電阻分壓大小比較



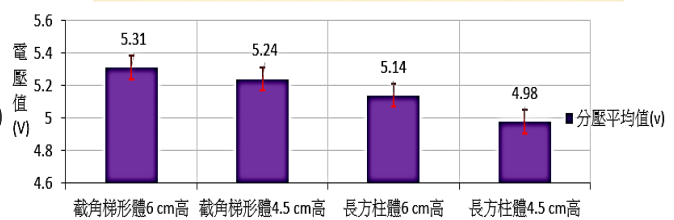
圖二、四顆超亮白LED燈光源在不同高度反射光罩下暗箱量測與光敏電阻串接的2kΩ一般電阻分壓大小比較



圖三、四顆3W鋁基板白光LED在不同高度反射光罩下無暗箱量測與光敏電阻串接的2kΩ一般電阻分壓大小比較



圖四、四顆3W鋁基板白光LED在不同高度反射光罩下暗箱量測與光敏電阻串接的2kΩ一般電阻分壓大小比較



2. 由每個位置測兩次，五個位置共測十次，測十個數據的變異數及標準差。
3. 由變異數 (variance) 取平方根，得標準差(STD) (可以用 Excel 的 STDEV 函數)
4. 綜合表一至表八、我們可以選最佳光罩為：「6cm 截角梯形暗箱下的反射光罩」；光源為：「四顆 3W 鋁基板白光 LED 光源」做我們後續量測與光敏電阻串接的 2kΩ 一般電阻分壓大小。

### 二、市售導電玻璃、導電薄膜與一般金屬及畫圖鉛筆的電阻比較

#### 實驗三-1、不同導電材料的電阻比較

控制變因：同等距格板(每1cm單位)、同數位型電錶

操縱變因：不同間距的待測材質

應變變因：電阻大小(Ω)

表九、市售導電玻璃、導電薄膜與一般金屬及畫圖鉛筆的電阻大小比較

導電材料	導電玻璃	導電薄膜	20# 鐵線	24# 鐵線	20# 鉛線	24# 鉛線	鋁線	合金線	1B 鉛筆	4B 鉛筆	8B 鉛筆
1cm 電阻(Ω)	35	24.1	1.737	1.942	1.814	1.798	1.831	1.942	101000	42000	18000
2cm 電阻(Ω)	40	26.7	1.931	1.838	1.948	1.935	1.952	1.989	244000	39000	21000
3cm 電阻(Ω)	57	29.5	1.942	1.886	1.989	1.967	1.987	1.955	827000	47000	161000

討論：

- 1.我們沒有買電阻更小的導電玻璃來對照，因為電阻愈小的愈貴！
- 2.A4 大小的導電薄膜價格不到 400 元，我們覺得可以接受，以後若要做實驗，還可以剪很多片來做對照實驗，不過，今年還用不到。
- 3.金屬線材是圓柱體的，需兩端用膠帶貼好固定，再對照下方格板尺寸，再用數位型三用電表兩支探針壓住待測尺寸量測，誤差頗大的！
- 4.畫圖鉛筆則更需畫在紙上才能量測 1~3cm 對照，雖然反覆且固定次數，但要讓鉛筆定呈均相附著在紙上且呈連續性，讓電子可在紙上移動，應該更不易吧~所以誤差更大！
- 5.幸好本實驗只是做參考比較用，結果是：  
電阻大小：畫圖鉛筆 >> 導電玻璃 > 導電薄膜 > 各種金屬線。

### 三、以不同染劑與硝酸銀溶液凝膠製備奈米銀棉格柵的可行性研究

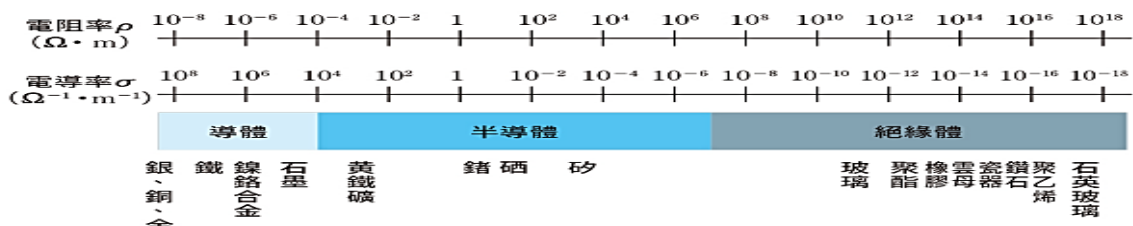
#### 實驗四、光照墨水樹染劑與硝酸銀製備奈米銀棉格柵的實驗

表十、光照不同時間下，墨水樹染劑與硝酸銀製備奈米銀棉格柵的電阻(MΩ)大小比較(薄膜兩端貼銀膠帶)

奈米銀棉格柵編號		A <sub>0</sub>			A <sub>1</sub>			A <sub>2</sub>			A <sub>3</sub>		
凝膠未乾	電阻(MΩ)	3.71	3.43	3.32	2.22	2.28	2.39	1.6	1.59	1.56	2.88	2.90	3.00
	平均 (MΩ)	3.49 ± 0.20			2.30 ± 0.09			1.58 ± 0.02			2.93 ± 0.06		
照光 1 分鐘	電阻(MΩ)	2.80	2.60	2.70	2.35	2.42	2.43	1.21	1.22	1.17	2.83	2.95	2.74
	平均(MΩ)	2.70 ± 0.10			2.40 ± 0.01			1.2 ± 0.03			2.84 ± 0.11		
照光 2 分鐘	電阻(MΩ)	0.93	0.88	0.87	2.44	2.43	2.42	1.75	1.68	1.65	2.75	2.63	2.61
	平均(MΩ)	0.89 ± 0.03			2.43 ± 0.01			1.69 ± 0.05			2.66 ± 0.08		
照光 3 分鐘	電阻(MΩ)	0.74	0.73	0.72	2.41	2.42	2.40	1.58	1.57	1.59	2.34	2.31	2.28
	平均(MΩ)	0.73 ± 0.01			2.41 ± 0.01			1.58 ± 0.01			2.30 ± 0.03		

討論：

- 1.還好，三用電表電阻的最大規格有到 MΩ 百萬歐姆，不然就測不出來了。
- 2.A<sub>0</sub> 可說是只有單層的 0.1MAgNO<sub>3</sub> 凝膠、A<sub>1</sub> 則是單層的 0.1MAgNO<sub>3</sub> 凝膠+墨水樹染劑格柵、A<sub>2</sub> 則是雙層的 0.1MAgNO<sub>3</sub> 凝膠、A<sub>3</sub> 則是單層的 0.1MAgNO<sub>3</sub> 凝膠+墨水樹染劑+硝酸銀混合的格柵。照光前(凝膠未乾)奈米銀棉格柵的電阻大小為：單層的 0.1MAgNO<sub>3</sub> 凝膠 A<sub>0</sub> > 單層的 0.1MAgNO<sub>3</sub> 凝膠+墨水樹染劑+硝酸銀混合液 A<sub>3</sub> > 單層的 0.1MAgNO<sub>3</sub> 凝膠+墨水樹染劑格柵 A<sub>1</sub> > 雙層的 0.1MAgNO<sub>3</sub> 凝膠 A<sub>2</sub>
- 3.照光 1 分鐘後奈米銀棉格柵的電阻大小為：A<sub>3</sub> > A<sub>0</sub> > A<sub>1</sub> > A<sub>2</sub>  
照光 2 分鐘後奈米銀棉格柵的電阻大小為：A<sub>3</sub> > A<sub>1</sub> > A<sub>2</sub> > A<sub>0</sub>  
照光 3 分鐘後奈米銀棉格柵的電阻大小為：A<sub>1</sub> > A<sub>3</sub> > A<sub>2</sub> > A<sub>0</sub>  
由此實驗顯示單層奈米銀棉格柵凝膠乾燥後的電阻愈來愈小，而有雙層的奈米銀棉格柵凝膠則比混合墨水樹染劑的電阻小。
- 4.因為銀膠帶背膠完全絕緣，奈米銀棉格柵上下兩層間還需以銅箔為傳遞電子的橋樑，3cm 間距量測奈米銀棉格柵的電阻大小，只能在半導體電阻的未段班(一般用電阻率 ρ 來描述物質的電阻大小。電阻率的單位是 [Ω·m]，電阻率愈大，電阻就愈大)

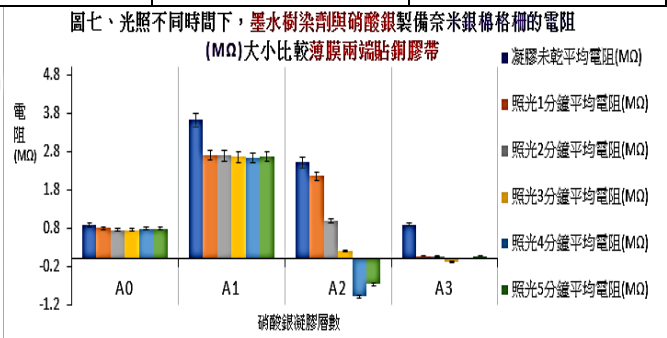
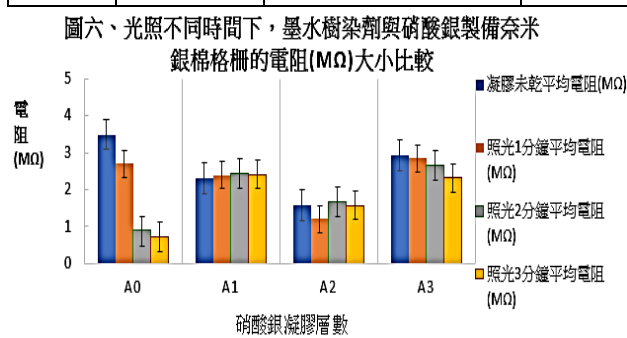


圖五、導體、半導體、絕緣體電阻率的分類，圖片來自 <https://pansci.asia/archives/358846>

5. 我們想銀膠帶正面電阻的確可歸類在導體範圍內，但畢竟是布膠，若以純銅膠帶會不會好一些，於是我們做了四-2，同樣的其背膠一樣完全絕緣，所以，棉格柵一樣先貼膠後再塗硝酸銀膠，接續的地方膠要塗好，作法同實驗四-1，只有貼銀膠帶及銅箔膠帶不同而已。  
 實驗四-2、硝酸銀凝膠+奈米銀棉格柵 A<sub>0-3</sub>(導電銅膠帶)

表十一、光照不同時間下，墨水樹染劑與硝酸銀製備奈米銀棉格柵的電阻(MΩ)大小比較(薄膜兩端貼銅膠帶)

奈米銀棉格柵編號		A <sub>0</sub>			A <sub>1</sub>			A <sub>2</sub>			A <sub>3</sub>		
凝膠未乾	電阻(MΩ)	0.89	0.89	0.88	3.70	3.65	3.50	2.50	2.56	2.48	0.89	1.18	0.62
	平均(MΩ)	0.89 ± 0.01			3.62 ± 0.10			2.51 ± 0.04			0.90 ± 0.28		
照光1分鐘	電阻(MΩ)	0.80	0.80	0.80	2.70	2.70	2.69	2.30	2.22	1.99	0.16	0.07	0.01
	平均(MΩ)	0.80 ± 0.00			2.70 ± 0.01			2.17 ± 0.16			0.08 ± 0.08		
照光2分鐘	電阻(MΩ)	0.76	0.76	0.76	2.69	2.69	2.69	0.93	0.95	1.11	0.07	0.13	0.02
	平均(MΩ)	0.76 ± 0.00			2.69 ± 0.00			1.00 ± 0.100			0.06 ± 0.06		
照光3分鐘	電阻(MΩ)	0.75	0.77	0.77	2.66	2.66	2.66	0.22	0.21	0.22	-0.07	-0.08	-0.06
	平均(MΩ)	0.76 ± 0.01			2.66 ± 0.02			0.22 ± 0.01			-0.07 ± 0.01		
照光4分鐘	電阻(MΩ)	0.79	0.79	0.79	2.65	2.63	2.62	-0.80	-1.03	-1.11	0.01	0.01	0.01
	平均(MΩ)	0.79 ± 0.00			2.63 ± 0.02			-0.98 ± 0.16			0.01 ± 0.00		
照光5分鐘	電阻(MΩ)	0.79	0.79	0.79	2.67	2.67	2.67	-0.90	-0.46	-0.61	0.09	0.08	0.08
	平均(MΩ)	0.79 ± 0.00			2.67 ± 0.00			-0.66 ± 0.22			0.08 ± 0.01		



6. 照光前(凝膠未乾)奈米銀棉格柵的電阻大小為：單層的 0.1MgAgNO<sub>3</sub> 凝膠+墨水樹染劑格柵 A<sub>1</sub>>雙層的 0.1MgAgNO<sub>3</sub> 凝膠 A<sub>2</sub>>單層的 0.1MgAgNO<sub>3</sub> 凝膠+墨水樹染劑+硝酸銀混合液 A<sub>3</sub>>單層的 0.1MgAgNO<sub>3</sub> 凝膠 A<sub>0</sub>

7. 照光1分鐘後奈米銀棉格柵的電阻大小為：A<sub>1</sub>>A<sub>2</sub>>A<sub>3</sub>>A<sub>0</sub>

照光2分鐘後奈米銀棉格柵的電阻大小為：A<sub>1</sub>>A<sub>2</sub>>A<sub>0</sub>>A<sub>3</sub>

照光3分鐘後奈米銀棉格柵的電阻大小為：A<sub>1</sub>>A<sub>0</sub>>A<sub>2</sub>>A<sub>3</sub>：

- 由此實驗顯示單層奈米銀棉格柵凝膠乾燥後的電阻愈來愈小，而有雙層的奈米銀棉格柵凝膠則比混合墨水樹染劑的電阻小，混合  $0.1\text{M}\text{AgNO}_3$  + 墨水樹染劑的奈米銀棉格柵凝膠照光時間愈長，電阻則更小。
- 原本要進行的實驗五.光照紫膠蟲染劑與硝酸銀製備奈米銀格柵的實驗編號  $B_{0\sim 3}$ 、實驗六.光照胭脂蟲染劑與硝酸銀製備奈米銀格柵的實驗編號為  $C_{0\sim 3}$ 、實驗七、光照茜草染劑與硝酸銀製備奈米銀格柵的實驗編號為  $D_{0\sim 3}$  等，均因棉紗布的吸附溶液有限、製作格柵費時且為絕緣體電阻太大，初判無需再進行實驗探究的必要。
- 我們思考著，若以不同金屬粉末與硝酸銀溶液凝膠修飾奈米銀棉格柵的導電性是否可大大的提高？於是我們就繼續研究四的探究了。

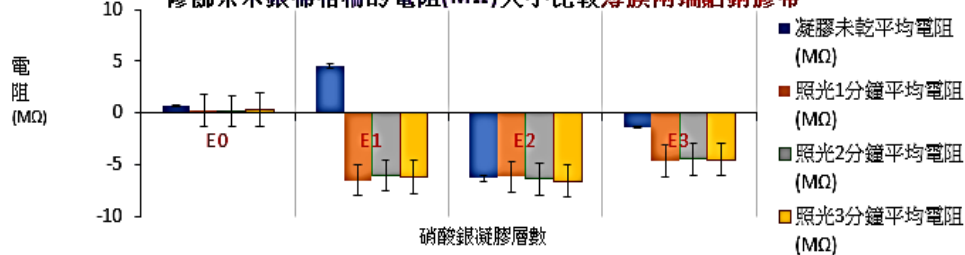
#### 四、以不同金屬粉末與硝酸銀溶液凝膠修飾奈米銀棉格柵的導電性研究

##### 實驗五、鐵粉與硝酸銀溶液凝膠製備奈米銀棉格柵的實驗

表十二、光照不同時間下，以鐵金屬粉末與硝酸銀溶液凝膠修飾奈米銀棉格柵的電阻( $\text{M}\Omega$ )大小比較(薄膜兩端貼銅膠帶)

奈米銀格柵編號		$E_0$			$E_1$			$E_2$			$E_3$		
凝膠未乾	電阻( $\text{M}\Omega$ )	0.82	0.70	0.61	4.62	4.48	4.56	-6.32	-6.31	-6.32	-1.32	-1.38	-1.49
	平均( $\text{M}\Omega$ )	$0.71 \pm 0.11$			$4.55 \pm 0.07$			$-6.32 \pm 0.07$			$-1.40 \pm 0.09$		
照光 1 分鐘	電阻( $\text{M}\Omega$ )	0.22	0.18	0.24	-6.70	-6.21	-6.52	-6.15	-6.17	-6.20	-4.53	-4.56	-4.58
	平均( $\text{M}\Omega$ )	$0.21 \pm 0.03$			$-6.48 \pm 0.25$			$-6.17 \pm 0.00$			$-4.56 \pm 0.03$		
照光 2 分鐘	電阻( $\text{M}\Omega$ )	0.14	0.14	0.19	-5.99	-5.97	-6.03	-6.38	-6.39	-6.40	-4.46	-4.48	-4.43
	平均( $\text{M}\Omega$ )	$0.16 \pm 0.03$			$-6.00 \pm 0.03$			$-6.39 \pm 0.01$			$-4.46 \pm 0.03$		
照光 3 分鐘	電阻( $\text{M}\Omega$ )	0.30	0.31	0.32	-6.22	-6.20	-6.18	-6.55	-6.56	-6.59	-4.56	-4.49	-4.47
	平均( $\text{M}\Omega$ )	$0.31 \pm 0.01$			$-6.30 \pm 0.02$			$-6.57 \pm 0.02$			$-4.51 \pm 0.05$		

圖八、光照不同時間下，以鐵金屬粉末、墨水樹染劑與硝酸銀溶液凝膠修飾奈米銀棉格柵的電阻( $\text{M}\Omega$ )大小比較(薄膜兩端貼銅膠帶)



- 鐵粉顆粒太粗，不易均勻分佈在綿紗布上，需用塑膠片壓住，並用玻棒來回滾壓幾次才行。
- 我們發現，電阻由正轉負，表示鐵粉與硝酸銀溶液及硝酸銀凝膠產生了氧化還原反應，偵測電路的電子流方向產生逆轉。
- $E_1$  是凝膠未乾時，鐵粉先與墨水樹染劑混合，但一照光時，鐵粉就與底層的硝酸銀凝膠產生反應了。 $E_2$  相當於是雙層的  $0.1\text{M}\text{AgNO}_3$  凝膠，所以一開始就產生反應、 $A_3$  是墨水樹染劑+硝酸銀混合液與鐵粉也是立即產生反應。
- 照光前的電阻大小為： $E_2 > E_1 > E_3 > E_0$ 。
- 照光 1 分鐘後奈米銀棉格柵的電阻大小為： $E_1 > E_2 > E_3 > E_0$   
照光 2 分鐘後奈米銀棉格柵的電阻大小為： $E_2 > E_1 > E_3 > E_0$   
照光 3 分鐘後奈米銀棉格柵的電阻大小為： $E_2 > E_1 > E_3 > E_0$ ：
- 顆粒呈不連續狀，導電效能由電阻仍為  $\text{M}\Omega$  規格單位可知並未提高多少。

實驗六、鋅粉與硝酸銀溶液凝膠製備奈米銀棉格柵的實驗

表十三-1、光照不同時間下，以鋅金屬粉末與硝酸銀溶液凝膠修飾奈米銀棉格柵的電阻(MΩ)大小比較(薄膜兩端貼銅膠帶)

奈米銀格柵編號		F <sub>0</sub>			F <sub>1</sub>			F <sub>2</sub>			F <sub>3</sub>		
凝膠未乾	電阻(MΩ)	0.81	0.83	0.84	-5.93	-6.07	-6.05	3.90	3.09	3.75	6.13	7.97	8.26
	平均(MΩ)	0.83 ± 0.02			-6.02 ± 0.08			3.58 ± 0.43			7.45 ± 1.16		
照光1分鐘	電阻(MΩ)	0.35	0.32	0.31	-5.86	-5.98	-5.95	3.24	3.20	2.08	-5.86	-5.88	-5.85
	平均(MΩ)	0.33 ± 0.02			-5.93 ± 0.06			2.84 ± 0.63			-5.86 ± 0.02		
照光2分鐘	電阻(MΩ)	0.37	0.39	0.33	-5.83	-5.89	-5.84	2.68	2.66	2.64	-6.70	-6.72	-6.79
	平均(MΩ)	0.36 ± 0.03			-5.85 ± 0.03			2.66 ± 0.020			-6.74 ± 0.05		
照光3分鐘	電阻(MΩ)	0.42	0.44	0.43	-6.06	-6.04	-6.07	2.51	2.79	2.72	-6.97	-7.00	-6.99
	平均(MΩ)	0.43 ± 0.01			-6.06 ± 0.02			2.67 ± 0.145			-6.99 ± 0.015		

表十三-2、光照不同時間下，以鋅金屬粉末與硝酸銀溶液凝膠修飾奈米銀棉格柵的電阻(MΩ)大小比較(薄膜兩端貼銅膠帶)

奈米銀格柵編號		F <sub>0</sub>			F <sub>1</sub>			F <sub>2</sub>			F <sub>3</sub>		
凝膠未乾	電阻(MΩ)	0.81	0.83	0.84	6.68	9.40	7.11	19.98	18.19	19.1	-6.37	-6.35	-6.34
	平均(MΩ)	0.83 ± 0.02			7.73 ± 1.46			19.09 ± 0.90			-6.35 ± 0.02		
照光1分鐘	電阻(MΩ)	0.35	0.32	0.31	-0.17	-0.09	-0.59	3.78	3.69	3.63	-6.87	-6.84	-6.85
	平均(MΩ)	0.33 ± 0.02			-0.28 ± 0.28			3.70 ± 0.08			6.85 ± 0.02		
照光2分鐘	電阻(MΩ)	0.37	0.39	0.33	3.02	0.85	0.58	-1.80	-1.74	-1.69	-6.82	-6.85	-6.85
	平均(MΩ)	0.36 ± 0.03			1.48 ± 1.34			-1.74 ± 0.06			-6.84 ± 0.02		
照光3分鐘	電阻(MΩ)	0.42	0.44	0.43	-1.05	-0.94	-0.61	-1.66	-1.45	-1.26	-6.87	-6.86	-6.82
	平均(MΩ)	0.43 ± 0.01			-0.87 ± 0.23			-0.46 ± 0.20			-6.85 ± 0.03		

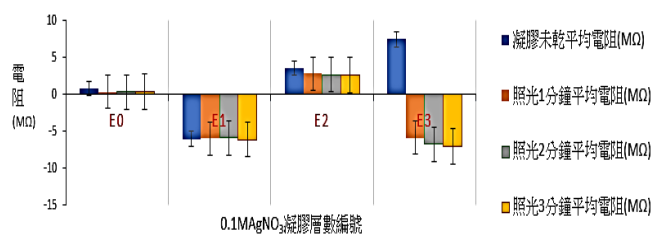
7.鋅粉過篩後顆粒較細，用玻棒來回滾壓幾次備用。

8.我們發現，偵測電路的電阻亦有由正轉負電子流產生逆轉的結果。

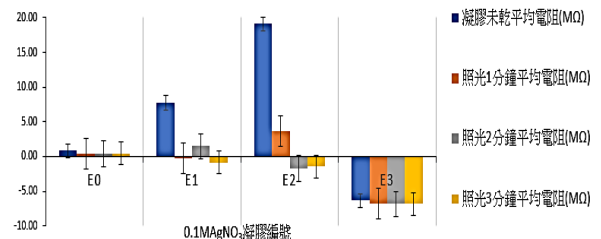
9.E<sub>1</sub>是凝膠未乾時，鐵粉先與墨水樹染劑混合，但一照光時，鐵粉就與底層的硝酸銀凝膠產生反應了。E<sub>2</sub>相當於是雙層的0.1M AgNO<sub>3</sub>凝膠，所以一開始就產生反應、A<sub>3</sub>是墨水樹染劑+硝酸銀混合液與鐵粉也是立即產生反應。

10.照光前後的電阻大小如圖九-1及九-2所示。

圖九-1、光照不同時間下，以鋅金屬粉末、墨水樹染劑與硝酸銀溶液凝膠修飾奈米銀棉格柵的電阻(MΩ)大小比較 薄膜兩端貼銅膠帶



圖九-2、光照不同時間下，以鋅金屬粉末、墨水樹染劑與硝酸銀溶液凝膠修飾奈米銀棉格柵的電阻(MΩ)大小比較 薄膜兩端貼銅膠帶



11.顆粒呈不連續狀，導電效能由電阻仍為 MΩ 規格單位可知並未提高多少。

12.我們經過討論，非金屬碳粉雖比鋅粉更細，除非壓密，否則難與金屬粉末相比，對此，我們持保留的態度，等以後有時間再回頭探究，因為加了這些金屬粉末，膠膜的透光率相當低！所以，與我們想要的可透光薄膜相差太遠...。

13.棉格柵難做且修飾後的導電效能未有明顯的成效，那我們就用金屬格柵來試看看吧！ 20

五、以 33 目金屬網與硝酸銀溶液凝膠修飾奈米銀金屬網格柵的導電性及透光率研究  
 實驗七、不銹鋼鐵網與硝酸銀溶液凝膠製備奈米銀格柵的實驗

表十四、3\*3 cm<sup>2</sup> 框架內 0.1MAgNO<sub>3</sub> 凝膠膜的乾濕電阻大小比較

編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值	標準差
未乾前電阻 MΩ	6.19	5.39	9.10	4.25	4.52	5.77	7.22	8.86	4.34	9.54	6.518	2.044
乾燥後電阻 MΩ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	--	

表十五、金屬網 0.3 mm 間距，長、寬各約 3.3 cm 的電阻大小

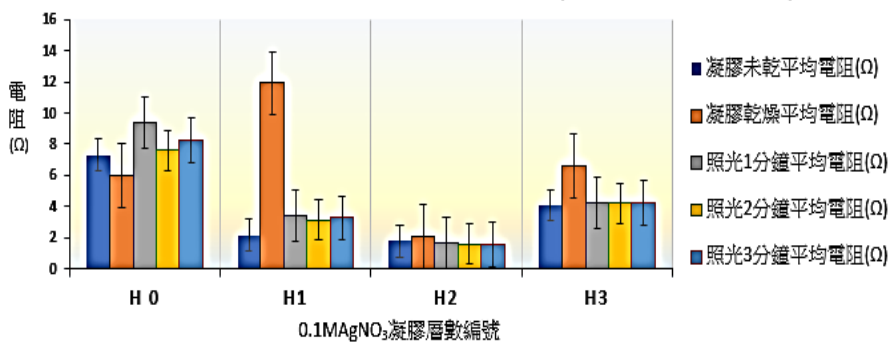
編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
電阻 MΩ	-	0.01	-	-	-	0.01	-	0.01	-	-	--

- 1.潮濕的硝酸銀凝膠膜電阻平均大小約為 6.52MΩ，乾燥後的硝酸銀凝膠膜用三用電錶轉至最大規格 20 MΩ，均測不出來，此結果與前面幾個實驗相同。
2. 我們到水電材料行買不銹鋼金屬網 33 目(約 0.3mm)，面積 180cm\*90cm 只需 100 多元，我們用金屬剪，出三用電錶轉至最大規格 20 MΩ，不是電阻測不出來，就是只有顯示 0.01MΩ，**由此可見金屬網只是交錯成網狀，並不利於電子的傳遞！**

表十六、光照不同時間下，不銹鋼鐵網與塗佈不同層數硝酸銀溶液凝膠製備奈米銀格柵的乾、濕及照光後的電阻比較(薄膜兩端改回貼銀膠帶)

奈米銀格柵編號		H <sub>0</sub>			H <sub>1</sub>			H <sub>2</sub>			H <sub>3</sub>		
凝膠未乾	電阻(Ω)	8.41	7.32	6.19	3.13	2.09	1.31	1.8	1.7	1.9	4.0	3.7	4.6
	平均(Ω)	7.31 ± 1.11			2.18 ± 0.91			1.80 ± 0.10			4.10 ± 0.46		
凝膠乾燥	電阻(Ω)	6.3	5.8	5.9	10.6	11.1	14.1	2.3	2.0	1.9	7.2	6.2	6.4
	平均(Ω)	6.00 ± 0.27			11.93 ± 1.89			2.07 ± 0.21			6.60 ± 0.53		
照光 1 分鐘	電阻(Ω)	9.1	9.3	9.8	3.4	3.5	3.3	1.7	1.6	1.7	4.3	4.3	4.2
	平均(Ω)	9.40 ± 0.360			3.40 ± 0.0			1.67 ± 0.0			4.27 ± 0.0		
照光 2 分鐘	電阻(Ω)	8.1	7.4	7.3	3.2	3.1	3.1	1.6	1.6	1.6	4.2	4.2	4.2
	平均(Ω)	7.60 ± 0.00			3.13 ± 0.01			1.60 ± 0.06			4.20 ± 0.06		
照光 3 分鐘	電阻(Ω)	8.3	8.2	8.3	3.3	3.2	3.3	1.6	1.6	1.6	4.3	4.2	4.3
	平均(Ω)	8.27 ± 0.06			3.27 ± 0.06			1.60 ± 0.00			4.27 ± 0.06		

圖十、光照不同時間下，不銹鋼鐵網與塗佈不同層數硝酸銀溶液凝膠製備奈米銀格柵的乾、濕及照光後的電阻比較(薄膜兩端改回貼銀膠帶)



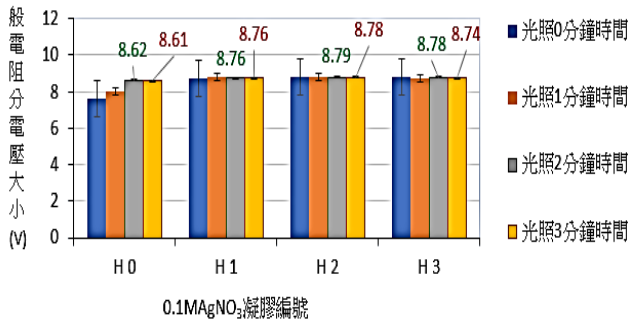
- 3.所有的電阻均已由 MΩ 大單位降低百萬倍 Ω 小單位，每層均置放於抽氣暗箱中乾燥，再進行塗佈至第二層至第四層，目前塗佈至第三層硝酸銀溶液凝膠為最佳化，其電阻最小。照光後電阻並未變小，製程應該可算是成功了。

實驗八、自製奈米銀格柵的透光率的檢測與分析

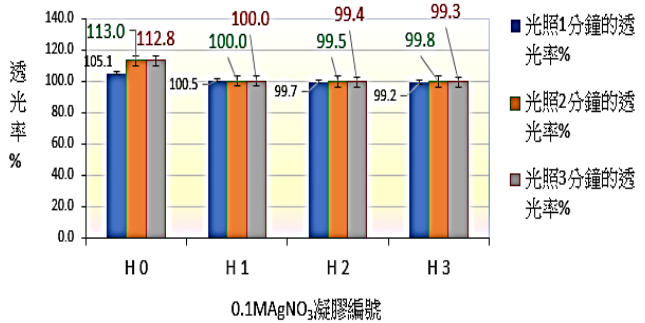
表十七、自製奈米銀格柵 H<sub>0</sub>~H<sub>3</sub> 配方膠膜，置於白光 3W 鋁基板反射罩光源的光罩下，光敏吸光後偵測串接一般電阻電壓值透光率比較【透光率=B/A<sub>0</sub>\*100%】

白光下電壓及透光率%比較					
0.1M <sub>AgNO<sub>3</sub></sub> 凝膠編號		H <sub>0</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>
光照時間(分)	電壓(V)				
0	A	7.60/7.63/7.65	8.75/8.76/8.76	8.83/8.82/8.83	8.80/8.81/8.79
1	B <sub>1</sub>	7.99/8.01/8.07	8.79/8.80/8.80	8.80/8.79/8.80	8.74/8.73/8.72
2	B <sub>2</sub>	8.62/8.61/8.62	8.76/8.75/8.76	8.79/8.78/8.79	8.76/8.78/8.79
3	B <sub>3</sub>	8.61/8.62/8.61	8.75/8.76/8.78	8.79/8.78/8.77	8.75/8.74/8.73
光照 1 分鐘的透光率%		105.1	100.5	99.7	99.2
光照 2 分鐘的透光率%		113.0	100.0	99.5	99.8
光照 3 分鐘的透光率%		112.8	100.0	99.4	99.3

圖十一 自製奈米銀格柵 H<sub>0</sub>~H<sub>3</sub> 配方膠膜，置於白光 3W 鋁基板反射罩光源的光罩下，光敏吸光後偵測串接一般電阻電壓值比較



圖十二 自製奈米銀格柵 H<sub>0</sub>~H<sub>3</sub> 配方膠膜，置於白光 3W 鋁基板反射罩光源的光罩下，光照不同時間下透光率%比較



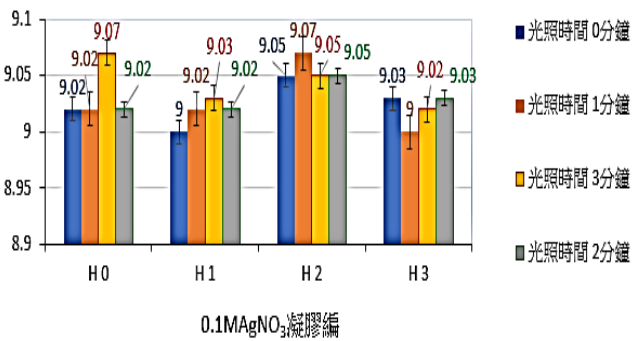
4. 這樣的透光率有些不合理，不應該是用金屬格柵照光前後來算透光率，而是應與最底層（第一層）的硝酸銀凝膠膜來對照才合理，因此，我們追加無金屬網格柵，且塗佈至第四層的實驗來做對照，結果如表十六。

表十八、無金屬網格柵 H<sub>0</sub>~H<sub>3</sub> 硝酸銀膠膜，置於白光 3W 鋁基板反射罩光源的光罩下，光照不同時間後光敏吸光後偵測串接一般電阻電壓值比較【透光率=B/A<sub>0</sub>\*100%】

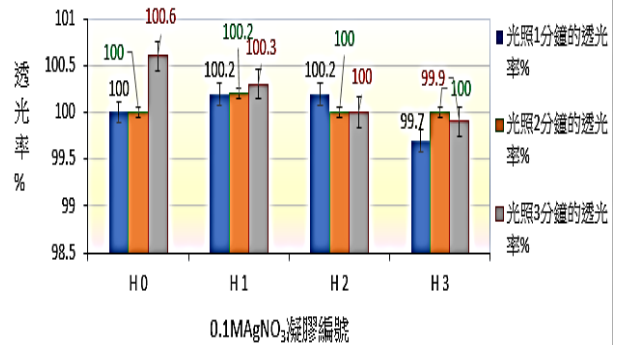
白光下電壓及透光率%比較					
0.1M <sub>AgNO<sub>3</sub></sub> 凝膠編號		H <sub>0</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>
光照時間(分)	電壓(V)				
0	A	9.02/9.01/9.02	9.00/9.01/9.00	9.05/9.04/9.05	9.01/9.02/9.05
1	B <sub>1</sub>	9.02/9.01/9.03	9.02/9.03/9.01	9.08/9.07/9.07	9.00/9.00/9.00
2	B <sub>2</sub>	9.02/9.01/9.02	9.03/9.02/9.00	9.04/9.05/9.05	9.04/9.03/9.03
3	B <sub>3</sub>	9.07/9.08/9.07	9.04/9.03/9.03	9.05/9.04/9.05	9.02/9.03/9.02
平均值		9.07	9.03	9.05	9.02
光照 1 分鐘的透光率%		100.0	100.2	100.2	99.7
光照 2 分鐘的透光率%		100.0	100.2	100.0	100.0
光照 3 分鐘的透光率%		100.6	100.3	100.0	99.9

一般電阻分電壓大小 (V)

圖十三 無金屬網格柵 H<sub>0</sub>~H<sub>3</sub> 配方膠膜，置於白光3W鋁基板反射罩光源的光罩下，光照不同時間後光敏吸光後偵測串接一般電阻電壓值比較

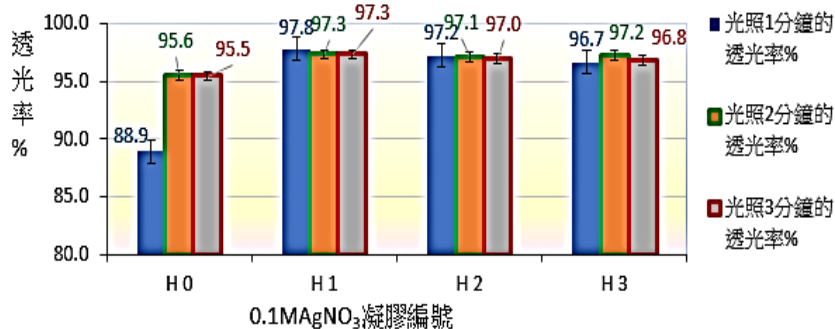


圖十四 無金屬網格柵 H<sub>0</sub>~H<sub>3</sub> 配方膠膜，置於白光3W鋁基板反射罩光源的光罩下，光照不同時間下透光率%比較



5. 無金屬網格柵 H<sub>0</sub>~H<sub>3</sub> 配方膠膜，置於白光 3W 鋁基板反射罩光源的光罩下，不管有無光照或塗抹多少層數，光敏吸光後偵測串接一般電阻電壓值是相差無幾的，我們特地將作圖的部份用二個直條及二條曲線混合圖形、加副座標並以顏色區分如圖十三，在透光率的部份結果如圖十四。
6. 因此，我們認為，後續要算透光率就應以無金屬網格柵 H<sub>0</sub>~H<sub>3</sub> 配方膠膜乾燥未照光時的光敏吸光後偵測串接一般電阻電壓值數據為 A，來計算透光率%會比較合理，故修正圖十六的透光率%如圖十二-2 如下：

圖十二-2 自製奈米銀格柵 H<sub>0</sub>~H<sub>3</sub> 配方膠膜，置於白光3W鋁基板反射罩光源的光罩下，光照不同時間下透光率%比較



7. 以無金屬網格柵和有金屬網格柵 H<sub>0</sub>~H<sub>3</sub> 硝酸銀膠膜照光不同時間下比較其透光率%發現，塗抹層數達第三層(投影片上的為第一層 H<sub>0</sub>、凝膜乾燥後加金屬網格柵後再塗的為第二層 H<sub>1</sub>、凝膜再乾燥後再塗的為第三層 H<sub>2</sub>、加金屬網格柵且塗抹至第四層硝酸銀膠膜)的透光率照光後均達 95% 以上。
8. 由表十四及圖十四的電阻比較值可知，加金屬網格柵的硝酸銀膠膜製程可提高導電度百萬倍，電阻值由接近絕緣體的 MΩ 單位進階至 Ω 單位，比市售導電薄膜 3 cm 間距的電阻值相較為小，這樣形成的金屬網格柵導電薄膜不僅可繞曲、比市售的導電薄膜有支撐度、不易變形、不易破且價格低廉，終於成功的做出來了。後面繼續再加天然染劑，若也能做出染敏金屬網格導電薄膜的研究就太好了！

## 六、光照不同天然染劑與硝酸銀金屬網製備奈米銀格柵的導電性研究

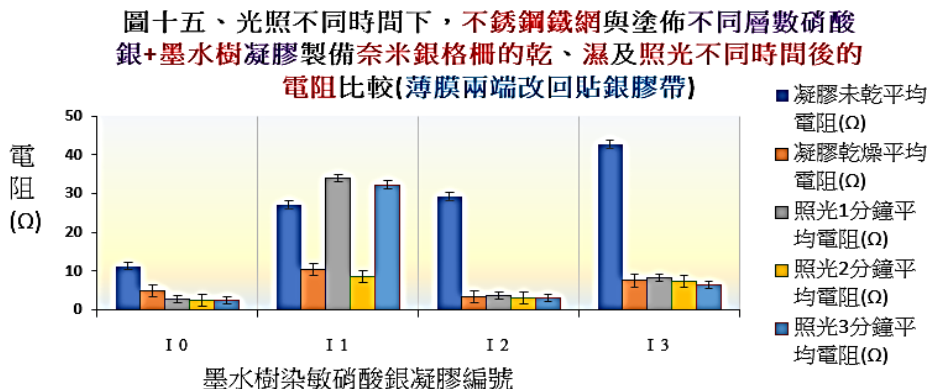
### 1. 實驗九、光照墨水樹染劑與硝酸銀金屬網製備奈米銀格柵的實驗

表十九、3\*3 cm<sup>2</sup> 框架內 0.1M AgNO<sub>3</sub> 凝膠膜+墨水樹染劑的配方膠膜乾濕電阻大小比較

編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值	標準差
未乾前電阻 MΩ	60.1	49.9	71.9	78.3	59.1	58.1	73.3	87.1	61.2	67.3	66.6	11.10
乾燥後電阻 MΩ	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		

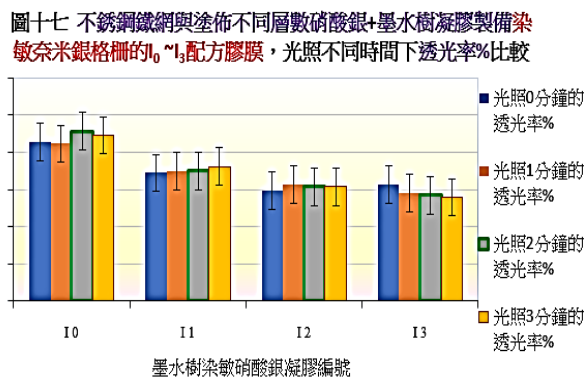
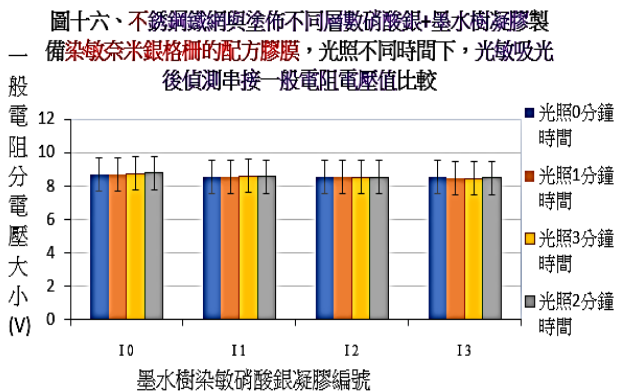


表十七、不銹鋼鐵網與塗佈不同層數硝酸銀+墨水樹凝膠製備染敏奈米銀格柵的乾、濕及照光不同時間後的電阻比較如圖十五。



2. 實驗十、自製奈米銀格柵墨水樹配方膠膜的光敏吸光後偵測串接一般電阻電壓值及透光率的檢測與分析

自製染敏奈米銀金屬網格柵 I<sub>0</sub>~I<sub>3</sub> 配方膠膜，置於白光 3W 鋁基板反射罩光源的光罩下，光敏吸光後偵測串接一般電阻電壓值及透光率比較如圖十六、圖十七。

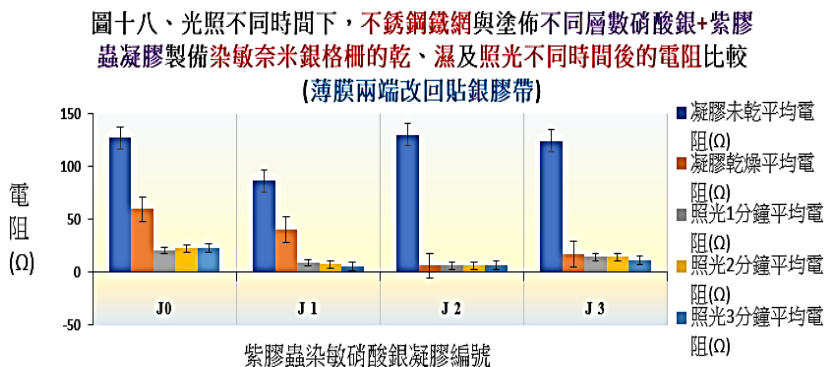


3. 實驗十一、光照紫膠蟲染劑與硝酸銀金屬網製備染敏奈米銀格柵的實驗

表二十、3\*3 cm<sup>2</sup> 框架內 0.1M AgNO<sub>3</sub> 凝膠膜+紫膠蟲染劑的配方膠膜乾濕電阻大小比較

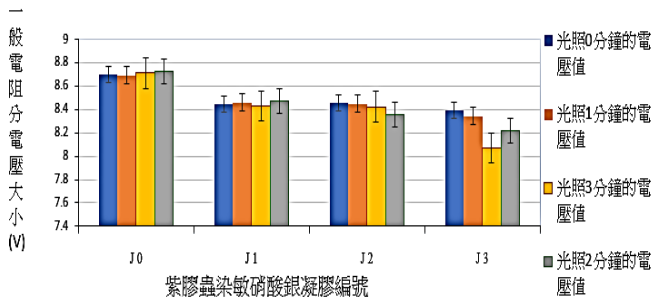
編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值	標準差
未乾前電阻 MΩ	59.1	52.0	72.2	64.3	33.3	27.2	52.4	49.5	52.2	25.6	48.78	15.54
乾燥後電阻 MΩ	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

自製紫膠蟲染劑與硝酸銀金屬網製備染敏奈米銀金屬網格柵 J<sub>0</sub>~J<sub>3</sub> 配方膠膜，置於白光 3W 鋁基板反射罩光源的光罩下，不銹鋼鐵網與塗佈不同層數硝酸銀+紫膠蟲凝膠製備染敏奈米銀格柵的乾、濕及照光後的電阻比較如圖十八。

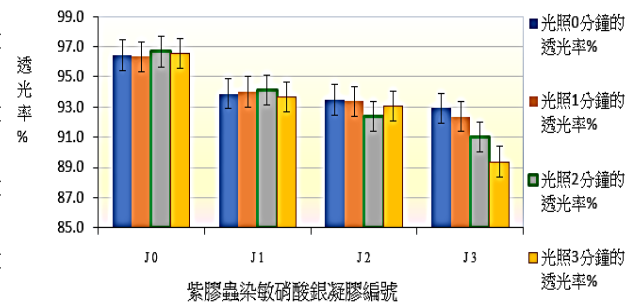


4. 實驗十二、自製染敏奈米銀格柵紫膠蟲配方膠膜的光敏吸光後偵測串接一般電阻電壓值及透光率的檢測與分析比較如圖十九、圖二十。

圖十九、不銹鋼鐵網與塗佈不同層數硝酸銀+紫膠蟲凝膠製備染敏奈米銀格柵的配方膠膜，光照不同時間下，光敏吸光後偵測串接一般電阻電壓值比較



圖二十、不銹鋼鐵網與塗佈不同層數硝酸銀+紫膠蟲凝膠製備染敏奈米銀格柵的配方膠膜，光照不同時間下透光率%比較



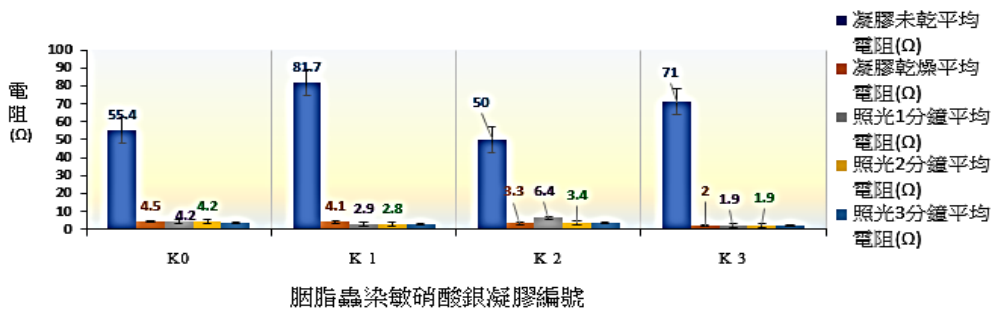
5. 實驗十三、光照胭脂蟲染劑與硝酸銀金屬網製備奈米銀格柵的實驗

表二十一、3\*3 cm<sup>2</sup> 框架內 0.1M AgNO<sub>3</sub> 凝膠膜+胭脂蟲染劑的配方膠膜乾濕電阻大小比較

編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值	標準差
未乾前電阻 MΩ	74.2	72.0	57	49.6	30.7	49.2	48.9	33	42.5	44.5	50.16	14.41
乾燥後電阻 MΩ	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

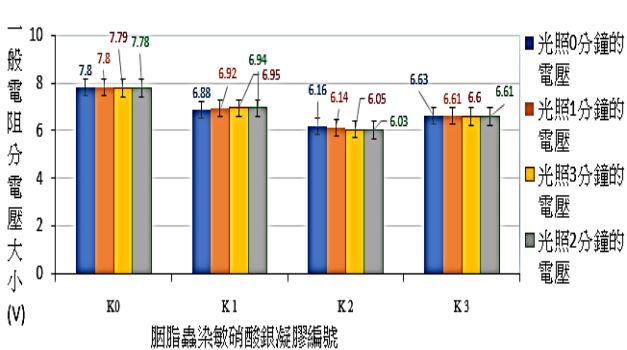
自製胭脂蟲染劑與硝酸銀金屬網製備染敏奈米銀金屬網格柵 K<sub>0</sub>~K<sub>3</sub> 配方膠膜，置於白光 3W 鋁基板反射罩光源的光罩下，染敏奈米金屬網銀格柵的乾、濕及照光後的電阻比較如圖二十一。

圖二十一、光照不同時間下，不銹鋼鐵網與塗佈不同層數硝酸銀+胭脂蟲凝膠製備染敏奈米銀格柵的乾、濕及照光不同時間後的電阻比較(薄膜兩端改回貼膠帶)

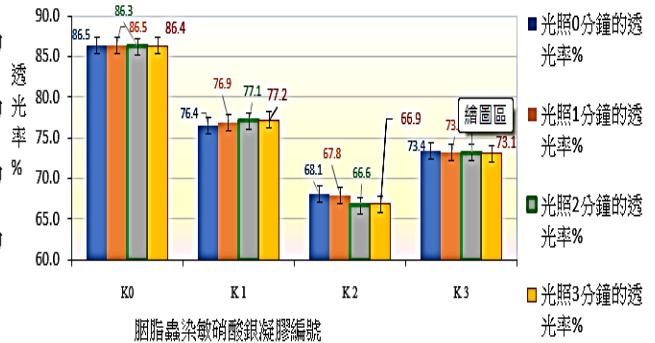


6. 實驗十四、自製染敏奈米銀格柵胭脂蟲配方膠膜的光敏吸光後偵測串接一般電阻電壓值及透光率的檢測與分析比較如圖二十二、圖二十三。

圖二十二、不銹鋼鐵網與塗佈不同層數硝酸銀+胭脂蟲凝膠製備染敏奈米銀格柵的配方膠膜，光照不同時間下，光敏吸光後偵測串接一般電阻電壓值比較



圖二十三、不銹鋼鐵網與塗佈不同層數硝酸銀+胭脂蟲凝膠製備染敏奈米銀格柵的配方膠膜，光照不同時間下透光率%比較



七、光照不同金屬網格柵製備墨水樹天然染劑與硝酸銀導電膜的電阻變化及透光率比較

實驗十五、高低電阻偵測校正

1. 低電阻校正實驗表格、高電阻校正實驗表格綜合如下表二十二

表二十二、綜合 6 個低電阻、高電阻校正表，待測電阻為  $R_1=47\sim 10000\Omega$  做高低電阻的偏差 % 校正比較

編號	$R_s$	$R_{DUT}$	A0	VRs	I	R	$V_{RDUT}$	偏差
單位	$\Omega$	$\Omega$	NA	V	A	$\Omega$	V	%
1	100	47	692.900	3.387	0.034	47.641	1.613	1.364
2	100	220	321.000	1.569	0.016	218.690	3.431	0.006
3	100	1000	90.100	0.440	0.004	1035.837	4.560	0.036
4	1000	100	930.000	4.545	0.0045	100.000	0.455	0
5	1000	4700	176.200	0.861	0.0009	4805.932	4.139	0.023
6	1000	10000	91.000	0.445	0.0004	10241.760	4.555	0.024

實驗十六、不同金屬網目的電阻比較(綜合實驗表格如表二十三)

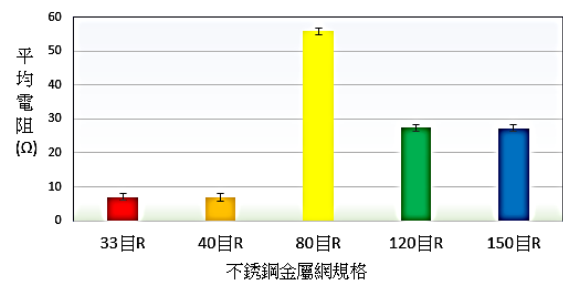
表二十三、每 3 秒偵測 33 目~150 目不銹鋼網的電阻大小，連續偵測 1 分鐘(下大雨，天氣非常潮濕)

不銹鋼金屬網規格	33 目 R	40 目 R	80 目 R	120 目 R	150 目 R
平均電阻( $\Omega$ ) $\pm$ 標準差	6.99 $\pm$ 0.31	6.891 $\pm$ 0.002	55.88 $\pm$ 13.16	27.49 $\pm$ 5.15	27.25 $\pm$ 12.57

討論：

- 如前述表十五不銹鋼金屬網 33 目用三用電錶轉至最大規格 20 M $\Omega$ ，當時天氣相當乾燥，電阻測不太出來，最多只有顯示 0.01M $\Omega$ ，由此可見乾燥天氣下，金屬網只是交錯成網狀，並不利於電子的傳遞！
- 但是！！在下了豪大雨，空氣相當潮濕的情況下，經校正電阻，偏差率極小的 Arduino 程式偵測下，各大小不同的金屬網格，居然，平均電阻最低只有 6 點多 $\Omega$ 而已。
- 由此可見，潮濕的天氣下，儘量不要靠近金屬鐵網，或者金屬紗窗最好外層有絕緣膠，就像銅漆包線絕緣一樣，以免有被傳導電子遭受電擊的危險，這真是個意外的發現。

圖二十四、天氣非常潮濕下每分鐘33目~150 不銹鋼金屬網平均電阻 $\Omega$ 值的變化



實驗十七、不同金屬網目製備墨水樹染敏金屬網格柵硝酸銀導電膜的電阻比較

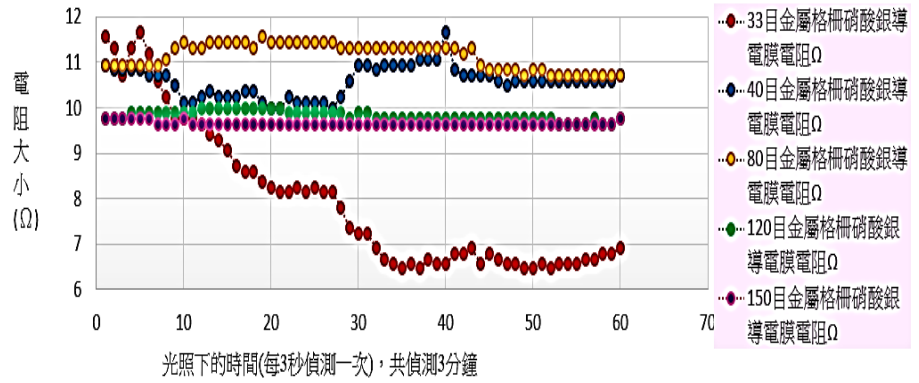
表二十四、每 3 秒偵測 33 目~150 目不銹鋼網的電阻大小，連續偵測 3 分鐘

金屬格柵硝酸銀導電膜電阻 $\Omega$	33 目金屬網	40 目金屬網	80 目金屬網	120 目金屬網	150 目金屬網
平均值	7.95	10.58	11.15	9.82	9.66
標準差	1.61	0.34	0.28	0.11	0.04
平均 $\pm$ 標準差	7.95 $\pm$ 1.61	10.58 $\pm$ 0.34	11.15 $\pm$ 0.28	9.82 $\pm$ 0.11	9.67 $\pm$ 0.04

討論：

較如圖表可知，愈粗的金屬網格 33 目的金屬格柵硝酸銀導電膜電阻在光照下的電阻平均值最小，光照時間愈長，電阻下降愈多，數據變異比其它較多目、較細的金屬格柵多。

圖二十五、光照3分鐘下墨水樹染敏33-150目金屬格柵硝酸銀導電膜電阻Ω值的變化



實驗十八、不同金屬網目製備墨水樹染敏金屬網格柵硝酸銀導電膜的透光率比較

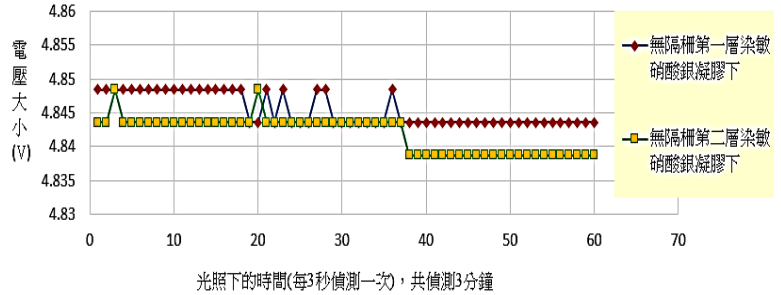
表二十五、塗佈第一層與第二層硝酸銀+墨水樹凝膠，無不銹鋼鐵網，光照 3 分鐘時間下，光敏吸光後偵測串接一般 1KΩ 電阻的電壓值比較(對照組)

編號	$R_s$	A0	$VR_s$	I	R	$V_{RDUT}$
單位	$\Omega$	NA	V	A	$\Omega$	V
第一層	平均值	31.62	0.1545	0.00015	31364.06	4.8455
	標準差	0.49	0.0024	2E-06	505.62	0.0024
	平均±標準差	31.62±0.49	0.1545±0.0024	0.0002±0.0000	31364.1±505.6	4.8455±0.0024
第二層	平均值	32.35	0.158111833	0.000157783	30631.77	4.8419
	標準差	0.55	0.0027	0.000003	535.18	0.0027
	平均±標準差	32.35±0.55	0.1581±0.0027	0.00016±0.0000	30631.8±535.2	4.8419±0.0027

討論：

染敏墨水樹+硝酸銀金屬格柵導電膜的透光率試驗需有無金屬格柵的導電膜做偵測的電壓對照，所以我們比較無不銹鋼鐵網，第一層與第二層硝酸銀凝膠光照 3 分鐘時間下，光敏吸光後偵測串接一般 1KΩ 電阻的電壓值比較，結果隨照光時間愈久，偵測的電壓略有下降，塗的層數增加，電壓下降就愈多。

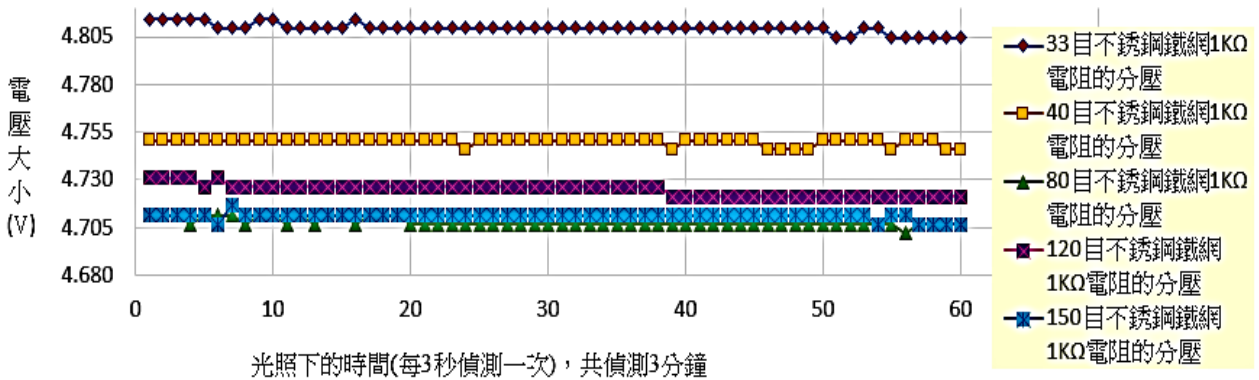
圖二十六、塗佈第一層與第二層硝酸銀+墨水樹凝膠，無不銹鋼鐵網，光照 3 分鐘時間下，光敏吸光後偵測串接一般 1KΩ 電阻的電壓值比較



表二十六、33-150 目不銹鋼鐵網塗佈第一層硝酸銀+墨水樹凝膠製備墨水樹染敏奈米銀格柵的導電膜，光照 3 分鐘時間下，光敏吸光後偵測串接一般 1KΩ 電阻的電壓值比較

與感光光敏電阻串接 1KΩ 的分電壓大小(V)	33 目金屬網	40 目金屬網	80 目金屬網	120 目金屬網	150 目金屬網
平均值	4.809	4.750	4.708	4.7249	4.711
標準差	0.003	0.002	0.002	0.0030	0.002
平均±標準差	4.809±0.003	4.750±0.002	4.708±0.002	4.725±0.003	4.711±0.002

圖二十七、33-150目不銹鋼鐵網塗佈第一層硝酸銀+墨水樹凝膠製備墨水樹染敏奈米銀  
 格柵的導電膜，光照3分鐘時間下，光敏吸光後偵測串接一般1KΩ電阻的電壓值比較



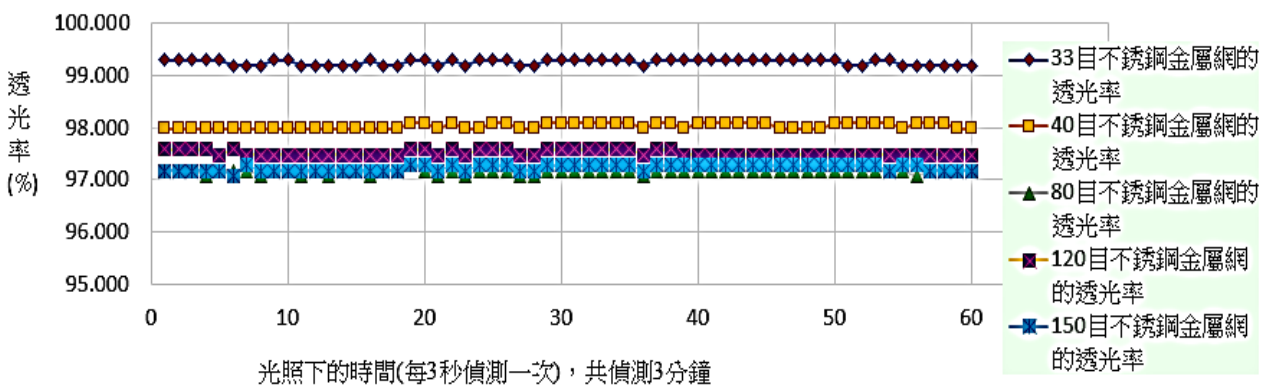
討論：

金屬網格柵愈少目，格柵間距愈大，光照墨水樹染敏奈米銀格柵的導電膜的穿透光線強度愈高，光敏電阻感光後電阻值下降得較多，所以與一般 1KΩ 串聯，光敏電阻分配到的電壓值就愈低而一般 1KΩ 電阻的分壓就愈高。所以，光敏吸光後偵測串接一般 1KΩ 電阻的電壓大愈大，透光率也就愈大。

表二十六、33-150 目不銹鋼鐵網塗佈第一層硝酸銀+墨水樹凝膠製備墨水樹染敏奈米銀格柵的導電膜，光照 3 分鐘時間下，光敏吸光後偵測串接一般 1KΩ 電阻的透光率比較

	33 目金屬網	40 目金屬網	80 目金屬網	120 目金屬網	150 目金屬網
平均值	4.809	4.750	4.708	4.7249	4.711
標準差	0.003	0.002	0.002	0.0030	0.002
平均±標準差	4.809±0.003	4.750±0.002	4.708±0.002	4.725±0.003	4.711±0.002

圖二十八、33-150目不銹鋼鐵網塗佈第一層硝酸銀+墨水樹凝膠製備墨水樹染敏奈米銀  
 格柵的導電膜，光照3分鐘時間下，光敏吸光後偵測串接一般1KΩ電阻的透光率比較

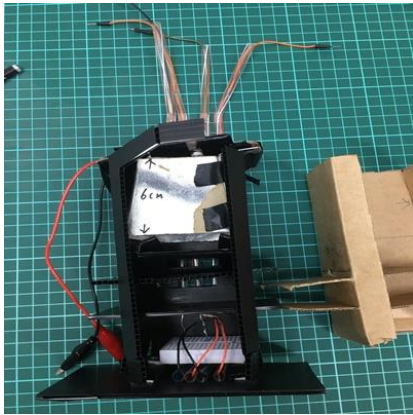


## 陸、結論與應用

- 為了讓光照硝酸銀凝膠能均勻吸收光能還原出奈米銀，我們成功的設計出最佳集光罩與光源為：「6cm 截角梯形暗箱下的反射光罩」&「四顆 3W 鋁基板白光 LED 串接排成 2\*2 陣列方式光源」，由偵測 5 點不同亮區共測十次區間位置與光敏電阻串接的一般電阻電壓的標準差不到 0.015 而言，照射 3\*3cm<sup>2</sup> 格柵面積的受光可說是相當均勻的！未來更可以此延伸至更大面積的照射。

- 2.潮濕的硝酸銀凝膠膜電阻平均大小約為 6.52MΩ，乾燥後的硝酸銀凝膠膜用三用電錶轉至最大規格 20 MΩ，均測不出來。
- 3.光照墨水樹染劑與硝酸銀製備奈米銀棉格柵的實驗電阻(MΩ)大小比較，薄膜兩端貼銀膠帶照光 3 分鐘後奈米銀棉格柵的電阻大小為：A<sub>1</sub> 單層的 0.1MAgNO<sub>3</sub> 凝膠+墨水樹染劑格柵 2.41 MΩ> A<sub>3</sub> 單層的 0.1MAgNO<sub>3</sub> 凝膠+墨水樹染劑+硝酸銀混合液 2.31 MΩ> A<sub>2</sub> 雙層的 0.1MAgNO<sub>3</sub> 凝膠 1.58 MΩ> A<sub>0</sub> 單層的 0.1MAgNO<sub>3</sub> 凝膠 0.73 MΩ。
- 4.因為銀膠帶及銅膠帶的背膠完全絕緣，奈米銀棉格柵上下兩層間還需以銅箔為傳遞電子的橋樑，若薄膜兩端貼銅膠帶，發現了電阻由正轉負的現象，這表示鐵粉與硝酸銀溶液及硝酸銀凝膠產生了氧化還原反應，偵測電路的電子流方向產生逆轉。
- 5.E<sub>1</sub> 凝膠未乾時，鐵粉先與墨水樹染劑混合，但一照光時，鐵粉就與底層的硝酸銀凝膠產生反應了。E<sub>2</sub> 相當於是雙層的 0.1MAgNO<sub>3</sub> 凝膠，所以一開始就產生反應、A<sub>3</sub> 是墨水樹染劑+硝酸銀混合液與鐵粉也是立即產生反應。照光 3 分鐘後奈米銀棉格柵的電阻大小為：  
：E<sub>2</sub>> E<sub>1</sub>> E<sub>3</sub>> E<sub>0</sub>：
- 6.鐵粉顆粒呈不連續狀、鋅粉過篩後顆粒較細，兩者導電效能由電阻仍為 MΩ 規格單位可知並未提高多少，因此利用棉格柵吸附力修飾奈米銀的導電膜難做且修飾後的導電效能未有明顯的成效！
- 7.不銹鋼金屬網 33 目(約 0.3mm)，剪下 4 cm\*4 cm 面積大小平均約只需 0.1 元，我們用金屬剪，出三用電錶轉至最大規格 20 MΩ，不是電阻測不出來，就是只有顯示 0.01MΩ，由此可見金屬網只是交錯成網狀，並不利於電子的傳遞！
- 8.不銹鋼鐵網與塗佈不同層數硝酸銀溶液凝膠製備奈米銀格柵的乾、濕及光照不同時間下的電阻比較均已由 MΩ 大單位降低百萬倍 Ω 小單位，導電率可說是大大提高，目前塗佈至第三層硝酸銀溶液凝膠為最佳化，其電阻最小。
- 9.自製奈米銀金屬網格柵的透光率 B 應與無格柵硝酸銀膠膜 A<sub>0</sub> 來計算透光率%會比較合理，無金屬網格柵 H<sub>0</sub>~H<sub>3</sub> 配方膠膜乾燥未照光時的光敏吸光後偵測串接一般電阻電壓值數據為 A，投影片上的為第一層 H<sub>0</sub>、凝膜乾燥後加金屬網格柵後再塗的為第二層 H<sub>1</sub>、凝膜再乾燥後再塗的為第三層 H<sub>2</sub>、加金屬網格柵且塗抹至第四層硝酸銀膠膜)的透光率照光後均達 95%以上。且我們發現不管有無照光或塗抹多少層數，光敏吸光後偵測串接一般電阻電壓值是相差無幾的。
- 10.光照墨水樹染劑或紫膠蟲染劑與硝酸銀金屬網製備奈米銀金屬網格柵乾燥且照光後的電阻可達 5 Ω 單位以下，透光率有九成以上。
- 11.光照胭脂蟲染劑與硝酸銀金屬網製備染敏奈米銀金屬網格柵 K<sub>0</sub>~K<sub>3</sub> 配方膠膜，乾燥且照光後的電阻則比前兩種天然染劑電阻更低，但可達 5 Ω 單位以下，但透光率則下降至 6 至八成。
- 12.加金屬網格柵的硝酸銀膠膜製程可提高導電度百萬倍，電阻由接近絕緣體的 MΩ 單位進階至 Ω 單位，比市售導電薄膜 3 cm 間距或導電玻璃的電阻值相較為小，這樣形成的金屬網格柵導電薄膜不僅可繞曲、透光率高、比市售的導電薄膜有支撐度、不易變形、不易破且價格低廉，終於成功的做出來了。
- 13.我們創新的改裝偵測光照面積受光的均勻度、縮小抽氣乾燥暗箱層架及空間、整合光照偵測系統至第三代，終於創新研發出可同步以 Arduino C 語言程式取代三用電錶偵測照光時導電膜的電阻變化與光敏電阻串接的 1KΩ 電阻電壓分壓變化。

14. 希望我們以便宜、材料取材容易且能成功製造出染敏奈米銀金屬格柵導電膜的製程，能讓所有對導電膜感興趣的大家參考，並藉由資訊軟體程式，創新準確且快速的偵測整合光照、電阻、電壓的儀器設計及偵測方法，能讓大家看到善用 ArduinoUNO 開發板提高實驗測量技術的新方向。



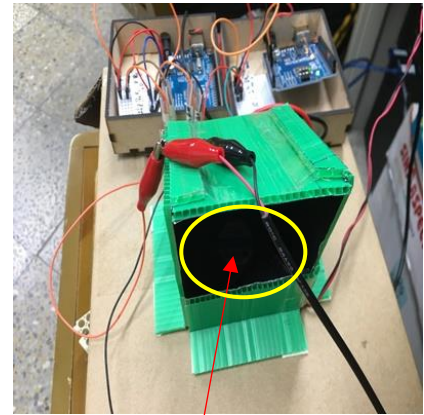
**整合偵測系統支架設計第二代**

下方光敏電阻與一般  $1K\Omega$  串接，供電接 Arduino 開發板的 5V 及接地腳位，偵測一般電阻的+-兩端接 Arduino 的 5V 及 A<sub>0</sub> 訊號線腳位，所有的接線以可彎式吸管由麵包板下方的通道直達外箱上方的 Arduino 偵測系統的置物盒中



**整合偵測系統支架設計第三代**

上方外板可支撐集光罩的光照設計第一插槽板上鑿空  $3\text{cm} \times 3\text{cm}$  部位為置放染敏奈米銀格柵的導電膜光照透光率測試，第二插槽板上鑿空直徑 1cm 的圓形，可正對置放光敏電阻受光部位



**整合偵測系統外箱偵測模組設計**

**第三代-後視圖** 系統內可置乾濕導電膜暗箱，外箱已設計回收電腦風扇抽氣乾燥

## 柒、參考資料及其他

- 延續科展作品  
楊采縈等(2022) 光照無所遁形~奈米銀變色膜的研究 中華民國第 62 屆中小學科學展覽會，臺中市
- 光敏電阻遇光的電壓變化值測定 [http://blog.ncue.edu.tw/sys/lib/read\\_attach.php?id=19286](http://blog.ncue.edu.tw/sys/lib/read_attach.php?id=19286)
- <https://kknews.cc/science/rbo6gpx.html> 光伏-建築一體化 | 我國研發新型高尖技術引領未來建築走向
- <https://www.materialsnet.com.tw/DocView.aspx?id=14983> 全球奈米銀市場與應用發展趨勢分析
- 重複性(Repeatability)之簡化評估 <https://www.researchmfg.com/2017/08/simplize-grr/>
- 李依庭等(2014) 黑白變-變色薄膜研究 中華民國第 53 屆中小學科學展覽會，桃園縣
- 王鈺瑄等(2019) 粉墨登場-自製導電墨水的研究 中華民國第 58 屆中小學科學展覽會，臺中市
- 清大普物實驗室-運用 arduino 進行 RLC 實驗測量 國立清華大學物理系普物實驗室 戴明鳳 教授 跨領域科學教育中心科普團隊
- 國中自然第三冊第 2 章 2-2 水溶液 第 4 章 光 第 6 章 探索物質的組成 康軒文教事業
- 國中自然第四冊第 1 章 化學反應 第 2 章 氧化與還原 第 3 章 3-1 認識電解質 3-3 中的莫耳濃度 康軒文教事業
- 國中自然第五冊第 3 章 3-5 能源 第 4 章 基本的靜電現象與電路 康軒文教事業
- 國中自然第六冊第 1 章 電的應用 第 2 章 電流與磁現象 康軒文教事業

## 【評語】 030213

本計劃係為同老師指導之前計劃的延伸計劃。縱然如此，此次為一個國中學生的獨立作品。選擇題材與綠能應用相關，研究精神及作法合乎科學邏輯，有問題解決的企圖心。

(1) 由於實驗是延伸前代的研究。在本次計劃內，應該將本次與前次的儀器設計分開清楚標示展現，較易了解這次內容的進步性。

(2) 研究報告的書寫，架構邏輯清晰，實驗內容豐富，具創意及實用價值。系統性地收集大量實驗數據，數據呈現也圖文並列清楚，難能可貴。

(3) 使用棉格柵應是要利用其吸收液體能力。但形狀不規則，是否對導電度有所影響？

(4) 應想辦法控制薄膜的厚度。否則導電度會有因厚度變因而影響。

(5) 可探討不同奈米銀結構之製備及其對導電膜功能的影響。

(6) 在高濕度條件下，獲得不預期之結果。應更深入的討論。

(7) 報告同學的現場表現：

(i) 回答問題，清楚、簡要、有自信且具有思辨能力。

(ii) 了解與作品相關之基本科學原理。



(iii) 了解結果與結論之釋義和限制。

(iv) 處理與執行作品具獨立性。

# 作品海報

染敏奈米銀格柵

導電膜

的研究

## 摘要

去年學姊用天然染料吸收3W鋁基板光照硝酸銀凝膠，使染料的電子躍遷至銀離子膠體上而還原出奈米銀變色膜。今年我們企圖將分散點狀的奈米銀成網狀格柵導電膜，為綠能的研發盡一點心力。

我們成功改良偵測光照面積受光的均勻度、縮小抽氣乾燥箱層架及空間、整合光照偵測系統至第三代，終於創新研發出可同步以Arduino C語言程式取代二用電錶偵測光照時導電膜的電阻變化與光敏電阻連接的1kΩ電阻電壓分壓變化，由投影片、天然染液、硝酸銀溶液、白膠、棉紗網格至交錯纏繞難導電的金屬網等材料，成功的研發出由數MΩ降低百萬倍至10Ω左右電阻規格的奈米銀格柵導電膜，非常便宜又精細的製程，讓人人都能製備出導電膜成為可能。

## 研究動機

去年學姐作品「光照無所遁形~奈米銀變色膜的研究」中，我們發現變色膜光照後透光率下降是因膜內的銀離子還原析出奈米銀原子的結果，而奈米銀原子易團聚致顏色由黃轉褐色，甚至顏色更深一些！我翻閱自然第四冊金屬的特性可知，銀金屬可說是金屬內導電性最佳的金屬代表，如果它可以導電，那我是否可以藉此做出導電薄膜或者導電凝膠呢？

但是銀是貴重金屬，如果整片薄膜含量愈高，成本一定也愈高，為了了解金屬的導電特性，老師在上科學課時，先讓我用一般金屬線來測試，發現同材料的金屬，長度愈長、電阻愈大；線條愈粗，電阻則愈小；我也發現，不同金屬材料的電阻大小也不一樣；自然第四冊非金屬材料中，有唯一的石墨碳棒是可導電的，我也看了科普介紹石墨的文章，超酷的！就在我剪剪塗塗中，突然靈光一閃，金屬網怎麼樣，讓銀析出由點連成線，線連成面不就是網了嗎？

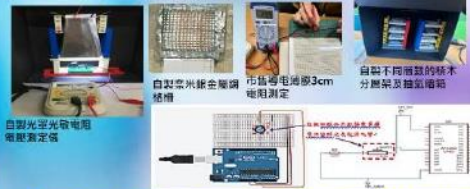
老師覺得我的構想不錯，於是延伸性的主題方向確定了，不管成與不成，說做就做吧~加油！！

## 研究目的

- 一、模擬太陽光的室內光罩設計
- 二、市售導電玻璃、導電膜與一般金屬及畫圖鉛筆的電阻比較
- 三、以不同染料與硝酸銀溶液凝膠製備奈米銀格柵的可行性研究
- 四、以不同金屬粉末與硝酸銀溶液凝膠修飾奈米銀格柵的導電性研究
- 五、以33日金屬網與硝酸銀溶液凝膠修飾奈米銀金屬網格柵的導電性及透光率研究
- 六、光照不同天然染料與硝酸銀金屬網製備奈米銀格柵的導電性研究
- 七、光照不同金屬網格柵製備墨水樹天然染料與硝酸銀導電膜的電阻變化及透光率比較

## 研究設備及器材

超亮白3W LED燈、3W鋁基板白光LED、麵包板、D型針、12V變壓器、六段電源變壓器、光敏電阻、1kΩ電阻、自組多層中空智高積木置物架、數位型三用電表、白膠、回收厚紙板、顏色墨報紙、黑色雙膠紙、白膠、小刀尺、自製直角方性及梯形鑿光罩、自製導電薄膜光照系統、自製光罩光敏電阻電壓測定儀、紅黑鱈魚夾線、焊槍及焊錫、自製智高積木多層支撐架、西卡紙、黑色壁紙、市售導電玻璃、導電薄膜、20#及24#鑽線、20#及24#鉛線、鋁線、合金線、1B-8B鉛畫圖鉛筆、等距格板、數位型三用電表、電腦Microsoft Word、繪製投影片框架、棉紗網、導電膠帶、銅膠帶、紙膠帶、剪刀、投影片、硝酸銀、墨水樹染料、白膠、自製塑膠夾窗、回收塑膠盒、去針的塑膠針筒、培養皿、50 mL燒杯、100 mL量瓶、電子秤、計時器、數位型三用電表、自製導電薄膜光照系統、自製不同層數的智高積木分層架及攜帶型抽氣箱、鐵粉、鋅粉、護貝膠膜、自製金屬粉末與硝酸銀溶液凝膠格柵、硬墊板33目不銹鋼鐵網、金屬剪、自製奈米銀金屬網格柵、墨水樹染料、胭脂藍、紫膠墨、自製染液奈米銀金屬網格柵、混合白膠與天然墨水樹、胭脂藍、紫膠墨染料與0.1M硝酸銀溶液、5 mL小注射針筒、西卡紙、小刀、切割墊、2~3mm 5 cm長的通槽卡模板、雙面膠、thinkercad電路圖Arduino測量已知電阻與待測電阻程式



創新準確且快速的偵測整合光照、電阻、電壓的儀器設計及善用ArduinoUNO開發板提高實驗測量技術的偵測方法

## 研究過程及方法



### 【研究一】模擬太陽光的室內光罩設計

**(一) 光源及電源**

實驗一、光源及光罩設計(一)

第一、模擬室內光照系統不同傾斜角度的10種設計，測試光敏電阻與Arduino Uno電阻的電阻大小。

第二、傾斜角度的10種設計，測試光敏電阻與Arduino Uno電阻的電阻大小。

第三、傾斜角度的10種設計，測試光敏電阻與Arduino Uno電阻的電阻大小。

第四、傾斜角度的10種設計，測試光敏電阻與Arduino Uno電阻的電阻大小。

第五、傾斜角度的10種設計，測試光敏電阻與Arduino Uno電阻的電阻大小。

第六、傾斜角度的10種設計，測試光敏電阻與Arduino Uno電阻的電阻大小。

第七、傾斜角度的10種設計，測試光敏電阻與Arduino Uno電阻的電阻大小。

第八、傾斜角度的10種設計，測試光敏電阻與Arduino Uno電阻的電阻大小。

第九、傾斜角度的10種設計，測試光敏電阻與Arduino Uno電阻的電阻大小。

第十、傾斜角度的10種設計，測試光敏電阻與Arduino Uno電阻的電阻大小。

**(二) 集光罩設計**

去蓋的正方形底5\*5\*6cm長方柱體或截角梯形底為4\*4cm\*正方形、高為6 cm截角梯形，貼上串接四顆3W鋁基板白光LED或四顆超亮白LED燈麵包板後，向下俯照，測量亮區上下左右及中間各5點下光敏電阻與1kΩ一般電阻串接後再與六段電源變壓器連接，量測1kΩ一般電阻與伏特計正接正、負接負端的電壓大小。

**(三) 光區的光能分佈均勻度測試**

實驗二、光源及光罩設計(二)

第一、傾斜角度的10種設計，測試光敏電阻與Arduino Uno電阻的電阻大小。

第二、傾斜角度的10種設計，測試光敏電阻與Arduino Uno電阻的電阻大小。

第三、傾斜角度的10種設計，測試光敏電阻與Arduino Uno電阻的電阻大小。

第四、傾斜角度的10種設計，測試光敏電阻與Arduino Uno電阻的電阻大小。

第五、傾斜角度的10種設計，測試光敏電阻與Arduino Uno電阻的電阻大小。

第六、傾斜角度的10種設計，測試光敏電阻與Arduino Uno電阻的電阻大小。

第七、傾斜角度的10種設計，測試光敏電阻與Arduino Uno電阻的電阻大小。

第八、傾斜角度的10種設計，測試光敏電阻與Arduino Uno電阻的電阻大小。

第九、傾斜角度的10種設計，測試光敏電阻與Arduino Uno電阻的電阻大小。

第十、傾斜角度的10種設計，測試光敏電阻與Arduino Uno電阻的電阻大小。

### 【研究二】市售導電玻璃、導電薄膜與一般金屬及畫圖鉛筆的電阻比較

實驗三、不同導電材料的電阻比較

導電材料	導電玻璃	導電膜	20#鑽線	24#鑽線	20#鉛線	24#鉛線	鋁線	合金線	1B鉛筆	4B鉛筆	8B鉛筆
1cm電阻(Ω)	0.035	24.1	1.737	1.942	1.814	1.798	1.831	1.942	101000	42000	18000
2cm電阻(Ω)	0.040	26.7	1.931	1.838	1.948	1.935	1.952	1.989	244000	39000	21000
3cm電阻(Ω)	0.057	29.5	1.942	1.886	1.989	1.967	1.987	1.955	827000	47000	161000

1. 整合偵測系統支架設計第一代

2. 整合偵測系統支架設計第二代

3. 第二代內部光罩導電膜光敏電阻及透光度偵測

4. Inkscape軟體繪製整合偵測系統支架第二代裝置的示意圖

5. 整合偵測系統支架第二代裝置的示意圖

6. 整合偵測系統支架設計第二代會切後裝置

7. 整合偵測系統內乾燥導電膜抽氣箱抽氣裝置

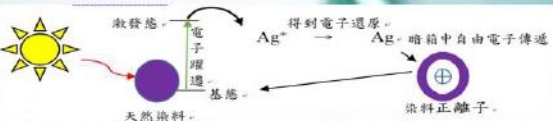
8. 乾燥導電膜抽氣箱抽氣裝置及透光度電壓偵測

9. 左邊序列埠環境面偵測Arduino偵測的電阻，右側面讀取偵測電阻區透光度

1. 電阻愈小的導電玻璃價格愈貴！
2. A4大小的導電玻璃價格不到400元，我們覺得可以接受，以後若要做實驗，還可以剪很多片來做對照實驗，不過，今年還用不到。
3. 金屬線材是圓柱體的，需兩端用膠帶貼好固定，再對照下方格板尺寸，再用數位型三用電表兩支探針壓住待測尺寸量測，誤差頗大的！
4. 畫圖鉛筆則更需畫在紙上才能量測1~3cm對照，雖然反覆且固定次數，但要讓鉛筆筆尖均相附著在紙上且呈連續性，讓電子可在紙上移動，應該更不易吧~所以誤差更大！
5. 幸好本實驗只是做參考比較用，結果是：電阻大小：畫圖鉛筆 >> 導電薄膜 > 各種金屬線 > 導電玻璃。

## 【研究三】以不同染料與硝酸銀溶液凝膠製備奈米銀棉格柵的可行性研究

去年創新的奈米銀棉格柵設計概念



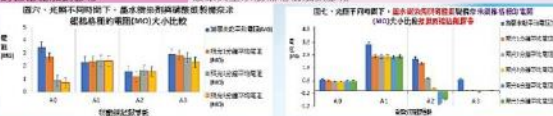
製程中的能階概念及電子傳遞過程：

1. 染料分子(Dye)吸收光能後，染料上的電子會從基態躍升至不穩定的激發態(Dye\*)
  2. 光激發反應(Photoexcitation):  $Dye + hv \rightarrow Dye^*$  (激發態)
  3. 激發態的染料分子(Dye\*)可將激發態電子迅速導入 $Ag^+$ 中，使 $Ag^+$ 得到電子而還原，而失去電子的染料分子則為氧化型態的染料正離子(Dye<sup>+</sup>):  $Dye^* + Ag^+ \rightarrow Dye^+ + Ag$
  4. 黑暗中， $Ag$ 奈米銀原子傳遞自由電子給染料正離子而氧化，染料正離子得到電子回至基態:  $Ag \rightarrow Ag^+ + e^-$  而  $Dye^+ + e^- \rightarrow Dye$  (基態)
- 我的想法是：為了避免奈米銀原子堆積成團，可以用白膠稀釋劑(水油)或低濃度稀釋劑(酒精溶液)為分散劑，用天然染料吸收陽光的紫外線，使染料上的電子躍遷至銀離子而還原出奈米銀原子，凝膠經紫外光下即可由原來的透明( $Ag^+$ 離子)變成半透明或不透明(奈米銀原子析出)的變色膠。

### 實驗四、光照墨水樹染劑與硝酸銀製備奈米銀棉格柵的實驗



### 實驗四-2、硝酸銀凝膠+奈米銀棉格柵A<sub>0-3</sub>(導電銅膠帶)



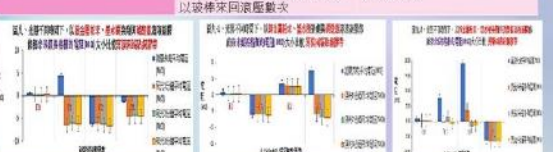
因為銀膠帶高導完全絕緣，奈米銀棉格柵上下兩層間通常以銀膠帶為傳遞電子的橋樑，3cm 間距測奈米銀棉格柵的電阻大小，只能在半導體電阻的未段區(一般用電阻率  $\rho$  來描述物質的電阻大小，電阻率的單位是  $(\Omega \cdot m)$ ，電阻率愈大，電阻就愈大)

## 【研究四】以不同金屬粉末與硝酸銀溶液凝膠修飾奈米銀棉格柵的導電性研究

### 實驗五、鋁粉與硝酸銀溶液凝膠製備奈米銀棉格柵的實驗



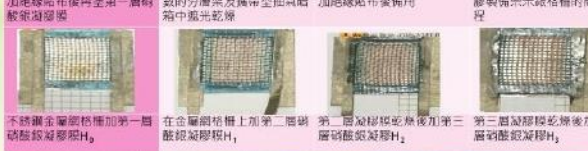
### 實驗六、鋅粉與硝酸銀溶液凝膠製備奈米銀棉格柵的實驗



1. 顆粒不連續狀，導電效能由電阻仍為MQ級格單位可知並未提高多少。
2. 我發現，非金屬粉雜比鈣粉更細，除非層厚，否則難與金屬粉末相比，對此，我和老師認為應保留的態度，等以後有時間再回頭探究，因為加了這些金屬粉末，膠體的透光率相當低！所以，與我們想要的可透光電阻相差太遠。
3. 棉格棉難且修飾後的導電效能未有明顯的成效，那就用金屬格柵來試試看吧！

## 【研究五】以33目金屬網與硝酸銀溶液凝膠修飾奈米銀金屬網格柵的導電性及透光率研究

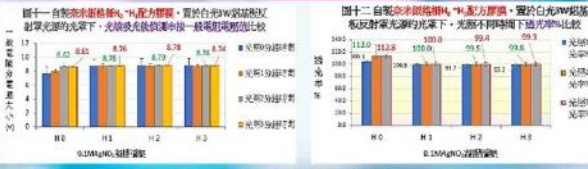
### 實驗七、不銹鋼網與硝酸銀溶液凝膠修飾奈米銀金屬網格柵的實驗



1. 潮濕的硝酸銀凝膠電阻平均大小約為6.52MQ，乾燥後的硝酸銀凝膠用三用電錶轉至最大檔格20MQ，均測不出來，此結果與前幾項實驗相符。
2. 我們到水電材料行買不銹鋼金屬網33目(約0.3mm)，面積180cm\*90cm只需100多元，我們用金屬網剪出三用電錶轉至最大檔格20MQ，不是電阻測不出來，就是只有顯示0.01MQ，由此可見金屬網只是交錯成網狀，並不利於電子的傳遞！



### 實驗八、自製奈米銀金屬網格柵的透光率的檢測與分析



這樣的透光率有些不合理，不應該是用金屬格柵照光前後來算透光率，而是應與最底層(第一層)的硝酸銀凝膠來對照才合理，因此，我們增加無金屬網格柵，且塗佈至第四層的實驗來做對照



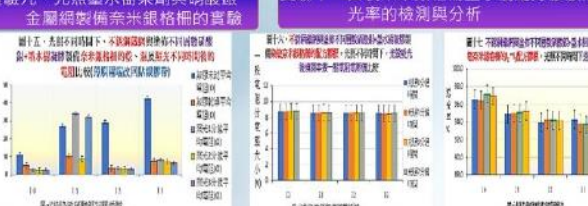
無金屬網格柵H<sub>0</sub>-H<sub>3</sub>配方膠液，置於白光3W鋁基板反射光源的光源下，不管有無照光或塗佈多少層數，光吸收光後偵測串接一般電阻電壓值是相差不大的，我們特地將作圖的部份用二個直線及二條曲線混合圖形，加副座標並以顏色區分如圖十三，在透光率的部份結果如圖十四，後續要算透光率就應以無金屬網格H<sub>0</sub>-H<sub>3</sub>配方膠液乾燥未照光時的光吸收光後偵測串接一般電阻電壓值數值為A，來計算透光率%會比較合理，故修正圖十二的透光率%如圖十二-2

以無金屬網格柵和有金屬網格柵H<sub>0</sub>~H<sub>3</sub>硝酸銀凝膠照光不同時間下比較其透光率%發現，透光率數值第二層(膠片)上的最高，第一層H<sub>1</sub>，凝膠乾燥後加金屬網格柵後再塗佈的第四層H<sub>4</sub>，凝膠乾燥後再塗佈的第三層H<sub>3</sub>，加金屬網格柵且塗佈至第四層硝酸銀膠液時的透光率%均達95%以上。

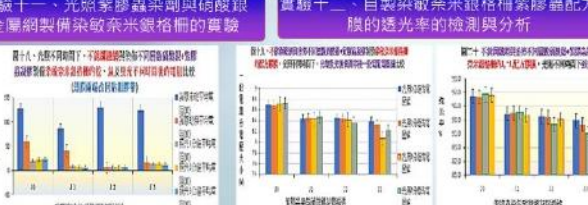
由表十四及圖十四的電阻比較可知，加金屬網格柵的硝酸銀凝膠製成可透光電阻百萬倍，電信阻由接近絕緣的MQ單位值降為Ω單位，比市售電阻每3cm間距或每電阻玻璃的電阻值低約為小，這樣形成的奈米銀棉格柵不僅可彎曲，比市售的電阻還有支撐度、不易變形、不易斷且價格低廉，終於成功的做出來了，後面繼續再加天然染料，若也能做出奈米銀棉格柵等電阻的研究就太好了

## 【研究六】光照不同天然染料與硝酸銀金屬網製備奈米銀棉格柵的導電性研究

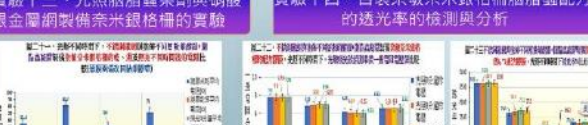
### 實驗九、光照墨水樹染劑與硝酸銀金屬網製備奈米銀棉格柵的實驗



### 實驗十、自製奈米銀棉格柵墨水樹配方膠液的透光率的檢測與分析



### 實驗十一、光照墨水樹染劑與硝酸銀金屬網製備奈米銀棉格柵的實驗



### 實驗十二、自製奈米銀棉格柵墨水樹配方膠液的透光率的檢測與分析



# 【研究七】光照不同金屬網格柵製備墨水樹天然染料與硝酸銀導電膜的電阻變化及透光率比較

## 實驗十五、高低電阻偵測校正

表二十二、綜合6個低電阻、高電阻校正表。待測電阻為  $R_1=47-10000\Omega$  做高低電阻的偏差%校正比較

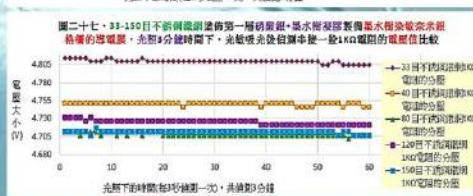
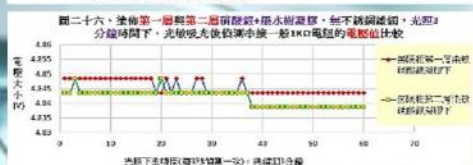
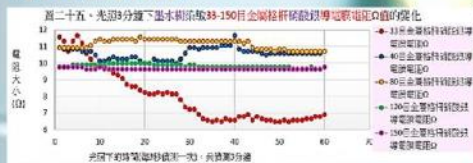
編號	$R_1$	$R_{meas}$	AO	VRS	I	R	$V_{out}$	偏差
單位	$\Omega$	$\Omega$	NA	V	A	$\Omega$	V	%
1	100	47	692.900	3.387	0.034	47.641	1.613	1.36%
2	100	220	321.000	1.569	0.016	218.690	3.431	0.006
3	100	1000	90.100	0.440	0.004	1035.837	4.560	0.036
4	1000	100	930.000	4.545	0.0045	100.000	0.455	0
5	1000	4700	176.200	0.861	0.009	4805.932	4.139	0.023
6	1000	10000	91.000	0.445	0.004	10241.76	4.555	0.024

## 實驗十七、不同金屬網目製備墨水樹染敏金屬網格柵硝酸銀導電膜的電阻比較

表二十四、每3秒偵測33目-150目不銹鋼網的電阻大小。持續偵測3分鐘

金屬網目	33目金屬網	40目金屬網	80目金屬網	120目金屬網	150目金屬網
平均值	7.95	10.58	11.15	9.82	9.66
標準差	1.61	0.34	0.28	0.11	0.04
平均+標準差	7.95±1.61	10.58±0.34	11.15±0.28	9.82±0.11	9.67±0.04

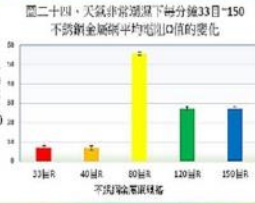
如圖二十五可知，愈粗的金屬網格33目的金屬網偵測硝酸銀導電膜電阻在光照下的電阻平均值最小，光照時間愈長，電阻下降愈多，數據變異比其它較多目、較細的金屬網格多。



## 實驗十六、不同金屬網目的電阻比較

表二十三、每3秒偵測33目-150目不銹鋼網的電阻大小。持續偵測1分鐘(下大雨，天氣非常潮濕)

不銹鋼金屬網規格	33目R	40目R	80目R	120目R	150目R
平均電阻( $\Omega$ )標準差	6.99±0.31	6.89±0.002	55.88±13.16	27.49±5.15	27.25±12.57



1. 如前述表十五不銹鋼金屬網33目用二用電錶轉至最大規格20M $\Omega$ ，當時天氣相當乾燥，電阻測不太出來，最多只有顯示0.01M $\Omega$ ，由此可見乾燥天氣下，金屬網只是交錯成網狀，並不利於電子的傳遞！  
2. 但是！！在下了大雨，空氣相當潮濕的情況下，按校正電阻，偵測率極小的Arduino電阻偵測下，各大小不同的金屬網格，居然，平均電阻值只有6點多 $\Omega$ 而已。  
3. 由此可見，潮濕的天氣下，儘量不要靠近金屬網格或者金屬紗窗最好外層有絕緣層，試做類似白綠絕緣線一樣，以免有被導電子遭受電擊的危險，這真是個意外的發現！

## 實驗十八、不同金屬網目製備墨水樹染敏金屬網格柵硝酸銀導電膜的透光率比較

表二十五、塗佈第一層與第二層硝酸銀與墨水樹膠膠，無不銹鋼網，光照3分鐘時間下，光敏電阻偵測中接一般1K $\Omega$ 電阻的電壓值比較

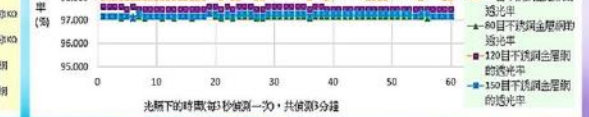
層數	$R_1$	AO	VRS	I	R	$V_{out}$
單位	W	NA	V	A	W	V
第一層	平均標準差	31.62±0.49	0.154±0.0024	0.0002±0.0000	31364.1±505.6	4.845±0.0024
第二層	平均標準差	32.35±0.55	0.158±0.0027	0.00016±0.0000	30631.8±535.2	4.8419±0.0027

染敏墨水樹+硝酸銀金屬網格柵導電膜的透光率試驗需有無金屬網格的導電膜做偵測的電阻對照，所以我們比較無不銹鋼網。第一層與第二層硝酸銀與墨水樹膠光照3分鐘時間下，光敏電阻偵測中接一般1K $\Omega$ 電阻的電壓值比較，結果隨光照時間愈久，偵測的電壓值有下降，電阻的數值增加，電壓下降就愈多。

表二十六、33-150目不銹鋼網塗佈第一層硝酸銀與墨水樹膠製備墨水樹染敏奈米銀網格柵的導電膜，光照3分鐘時間下，光敏電阻偵測中接一般1K $\Omega$ 電阻的電壓值比較

與感光電阻電阻串接1K $\Omega$ 的分壓器大小(V)	33目金屬網	40目金屬網	80目金屬網	120目金屬網	150目金屬網
平均標準差	4.809±0.003	4.750±0.002	4.708±0.002	4.725±0.003	4.711±0.002

金屬網格柵愈少目，格柵間距愈大，光照墨水樹染敏奈米銀網格柵的導電膜的透光率強度愈高，光敏電阻感光後電阻值下降得愈多，所以與一般1K $\Omega$ 串接，光敏電阻偵測到的電壓值就愈低而一般1K $\Omega$ 電阻的分壓就愈高，所以，光敏電阻偵測中接一般1K $\Omega$ 電阻的電壓愈大，透光率也就愈大。



## 結論與應用

- 為了讓光照硝酸銀膠膜均勻吸收光能還原出奈米銀，已成功的設計出最佳集光罩與光源為：「6cm載色梯形暗箱下的反射光罩」&「四顆3W鋁基板白光LED串接排成2\*2陣列式光源」。由偵測5點不同亮區共測十次區間位置與光敏電阻串接的一般電阻電壓的標準差不到0.015而言，照射3\*3cm<sup>2</sup>格柵面積的受光可說是相當均勻的！未來更可以此延伸至更大面積的照射。
- 潮濕的硝酸銀膠膜電阻平均大小約為6.52M $\Omega$ ，乾燥後的硝酸銀膠膜用三用電錶轉至最大規格20M $\Omega$ ，均測不出來。
- 光照墨水樹染料與硝酸銀製備奈米銀網格柵的實驗電阻(M $\Omega$ )大小比較，薄銀兩端貼膠膠帶光照3分鐘後奈米銀網格柵的電阻大小為：A<sub>1</sub>單層的0.1MgNO<sub>3</sub>凝膠+墨水樹染料製備2.41M $\Omega$  > A<sub>3</sub>雙層的0.1MgNO<sub>3</sub>凝膠+墨水樹染料+硝酸銀混合液2.31M $\Omega$  > A<sub>2</sub>雙層的0.1MgNO<sub>3</sub>凝膠1.58M $\Omega$  > A<sub>0</sub>單層的0.1MgNO<sub>3</sub>凝膠0.73M $\Omega$ 。
- 因為銀膠帶及銅膠帶的齊膠完全絕緣，奈米銀網格柵上下兩層間還帶以銅箔為傳遞電子的橋樑，若薄銀兩端貼銅膠帶，發現了電阻由正轉負的現象，這表示薄粉與硝酸銀溶液及硝酸銀膠膜產生了氧化還原反應，偵測電路的電子流方向產生逆轉。
- E<sub>1</sub>凝膠未乾時，鐵粉先與墨水樹染料混合，但一照光時，鐵粉就與底層的硝酸銀膠膜產生反應了，E<sub>2</sub>相當於是雙層的0.1MgNO<sub>3</sub>凝膠，所以一開始就產生反應，A<sub>3</sub>是墨水樹染料+硝酸銀混合液與鐵粉也是立即產生反應。光照3分鐘後奈米銀網格柵的電阻大小為：E<sub>2</sub> > E<sub>1</sub> > E<sub>3</sub> > E<sub>0</sub>。
- 鐵粉顆粒呈不連續狀，錳粉過篩後顆粒較細，兩者導電效能由電阻仍為M $\Omega$ 規格單位可知並未提高多少，因此利用棉格柵吸力修飾奈米銀的導電膜難做且修飾後的導電效能未有明顯的成效！
- 不銹鋼金屬網33目(約0.3mm)，剪下4cm\*4cm面積大小平均約只需0.1元，使用金屬剪，出三用電錶轉至最大規格20M $\Omega$ ，不是電阻測不出來，就是只有顯示0.01M $\Omega$ ，由此可見金屬網只是交錯成網狀，並不利於電子的傳遞！
- 不銹鋼網與塗佈不同層數硝酸銀溶液凝膠製備奈米銀網格柵的乾、濕及光照不同時間下的電阻比較均已由M $\Omega$ 大單位降低百萬倍Q小單位，導電率可說是大大提高，目前塗佈至第三層硝酸銀溶液凝膠為最佳化，其電阻最小。

- 自製奈米銀金屬網格柵的透光率B應與無格柵硝酸銀膠膜A<sub>0</sub>來計算透光率%會比較合理，無金屬網格柵 H<sub>0</sub> ~ H<sub>2</sub> 配方膠膜乾燥後未照光時的光敏電阻偵測串接一般電阻電壓值數據為A，投影片上的為第一層H<sub>1</sub>，凝膠乾燥後加金屬網格柵後再塗的為第二層H<sub>1</sub>，凝膠再乾燥後再塗的為第三層H<sub>2</sub>，加金屬網格柵且塗抹至第四層硝酸銀膠膜)的透光率光照後均達95%以上，且發現不管有無光照或塗抹多少層數，光敏電阻偵測串接一般電阻電壓值相差無幾的。
- 光照墨水樹染料或奈米銀染料與硝酸銀金屬網製備奈米銀金屬網格柵乾燥且照光後的電阻可達5 $\Omega$ 單位以下，透光率有九成以上。
- 光照膠膜奈米銀染料與硝酸銀金屬網製備奈米銀金屬網格柵K<sub>0</sub> ~ K<sub>3</sub> 配方膠膜，乾燥且照光後的電阻則比前兩種天然染料電阻更低，但可達5 $\Omega$ 單位以下，但透光率則下降至六至八成。
- 加金屬網格柵的硝酸銀膠膜製成可提高導電度百萬倍，電阻由接近絕緣線的M $\Omega$ 單位進階至 $\Omega$ 單位，比市售導電薄膜3cm間距或導電玻璃的電阻值相較為小，這樣形成的金屬網格柵導電膜不僅可彎曲、透光率高、比市售的導電薄膜有支撐度、不易變形、不易破且價格低廉，終於成功的做出來了。
- 我們創新的改裝偵測光照面積受光的均勻度、縮小抽氣乾燥箱層架及空間，整合光照偵測系統至第三代，終於創新研發出可同步以Arduino C語言程式取代三用電錶偵測光照時導電膜的電阻變化與光敏電阻串接的1K $\Omega$ 電阻電壓分壓變化。
- 希望我們以便宜、材料取材容易且能成功製造出染敏奈米銀金屬網格柵導電膜的製程，能讓所有對導電膜感興趣的大家參考，並藉由資訊軟體程式，創新準確且快速的偵測整合光照、電阻、電壓的儀器設計及偵測方法，能讓大家看到善用Arduino UNO開發板提高實測測量技術的新方向。



## 參考資料

- 楊采琴等(2022) 光照無所適形~奈米銀變色膜的研究 中華民國第62屆中小學科學展覽會，臺中市
- 光敏電阻避光的電壓變化偵測定 [http://blog.ncue.edu.tw/sys/lib/read\\_attach.php?id=19286](http://blog.ncue.edu.tw/sys/lib/read_attach.php?id=19286)
- <https://kknnews.sc/science/rb06gpx.html> 光伏-建築一體化 | 我國研發新型高尖技術引領未來建築走向
- <https://www.materialsnet.com.tw/DocView.aspx?id=14983> 全球奈米銀市場與應用發展趨勢分析
- 重複性(Repeatability)之簡化評估 <https://www.researchmfg.com/2017/08/simplify-grr/>
- 李佑貞等(2014) 黑白變-變色層膜研究 中華民國第53屆中小學科學展覽會，桃園縣
- 王廷遠等(2019) 粉墨登場-自製導電墨水的研究 中華民國第58屆中小學科學展覽會，臺中市
- 清大物理實驗室-運用Arduino進行RLC實驗測量 國立清華大學物理系初物理實驗室 嚴明國 教授 領域科學教育中心科普團隊
- 國中自然第三冊第2-2水溶液 第4章 第6章 探索物質的組成 廖軒文 教學案
- 國中自然第四冊第2章 化學反應 第2章 氧化與還原 第3章 3-1 認識電解質 3-3 中的 變耳邊 廖軒文 教學案
- 國中自然第五冊第3章 3-5 能源 第4章 基本的靜電現象與電路 廖軒文 教學案
- 國中自然第六冊第1章 電的應用 第2章 電流與磁現象 廖軒文 教學案