

中華民國第 62 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 化學科

佳作

030215

光照無所遁形~奈米銀變色膜的研究

學校名稱：臺中市立豐東國民中學

作者： 國一 陳盈安 國一 楊采縈	指導老師： 賴月琴
-------------------------	--------------

關鍵詞：奈米銀、氧化還原、光致變色

摘要

一般變色膜是用光致變色粉與 PU 膠混合而成，我們的光致變色薄膜是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膠體上而還原出奈米銀，使變色膜透光度變低。

我們成功的自製抽氣乾燥暗箱及 3w 鋁基板光照箱，讓光照成效能不錯的控制變因；自製多色光光罩吸光儀可記錄不同色光穿透變色膜下的光敏電阻感光電阻下降，偵測與之串接的一般電阻電壓提高的多寡，可算出透光率及透光恢復率的大小。

以 Gy33 感測器記錄變色膜的 RGB 值，轉由 HSV 之色相值等，可確切得知變色膜顏色變化的程度，未來以此製成的變色薄膜，可黏貼在汽車玻璃或窗戶玻璃上，達到光穿透率變低，光不刺眼、防曬、使車內或室內溫度下降，達到節能減碳目的成為可能。

壹、前言

一、研究動機

學校又開始招收一年一度的科展新血，國小就參加過科展的我，當然不會缺席！只是要玩什麼議題呢？剛好有位同學眼睛畏光，常看他帶不同的變色眼鏡，不知道的人，都覺得他很愛耍酷，這也無形中讓我注意到變色眼鏡的議題。

除了上網看變色眼鏡的新聞，也查了一些變色玻璃或變色薄膜的資料，這才知道，有**電致變色玻璃**，也有**光致變色玻璃**的差別，尤其是我看了車子因光而車窗自動呈明暗變色的影片時，覺得現代科技真是太厲害、太酷了。

我的野心沒這麼大，我只要每次回阿嬤家，坐在車窗內能夠有變色薄膜幫我遮光就好了，因為防曬乳讓我皮膚過敏，而我不想每次回去都被曬黑，當然最好是能做成粉色的，這樣我每次不管是貼在車內或教室的窗戶玻璃上，應該都會讓我心情很好才是。

好想法要跟好朋友分享，我們都同意做變色膜的主題，科展老師說，這個挑戰真不小，她也沒做過，不過很有趣，那大家就來研究看看吧~探究挑戰就此展開了！加油、衝啊！！

二、研究目的及研究問題

目的一、銀離子與天然染劑的還原性研究

問題：真的只有鹵化銀才能光致變色？學校藥品裡沒有鹵化銀，這是管制的藥品，不過，網站上有賣硝酸銀，而且那是一種殺菌劑，所以，我們要請老師教我們自己來製備看看！老師提供了一些不錯的訊息給我們，其中就是，光能可使染料上的電子躍遷到活潑的金屬離子上，或許，不用鹵化銀，硝酸銀也許就可行了也說不定！

目的二、自製變色薄膜的分散劑及溶劑比較初測

問題：找出取代保麗龍膠的膠水和白膠最佳的稀釋比例，再分別的加硝酸銀(當對照組)或硝酸銀加天然染劑比較看看。

目的三、自製抽氣乾燥暗箱的設計

問題：如果我們做出的變色薄膜真的遇光會變色，那怎麼比較變色薄膜照光前後的差異？所以，在配方膠還沒乾燥前就要放在暗箱內才行，白膠有味道，而且，若設計密閉式的，蒸發的水份如何排出？所以，我們要做有抽氣式的，還有要有排氣

管的暗箱才行！

目的四、自製光照箱的設計

問題：變色膜遇光會變色，初測時我們都拿去照日光，但每次有空實驗時的時間不一，加上有時天氣不佳，光照條件非控制變因，比較不同配方膠已失去客觀條件，仿間的 UV 燈規格太多，售價也差異很大，購買後還要組裝，且不一定合用，我們決定自製光照箱來試試看。

目的五、比較自製多色光光罩光敏電阻吸光儀及鑑色儀 RGB 校正及轉換⁷⁽¹⁾、⁸⁽⁷⁾

問題一：我們除了以 GY33 感測器測變色膜的外觀顏色外，是否還要進一步轉換 RGB 值，變成 360°色相度 H 值、百分比的飽和度 S 值及亮度 B 值更易比較呢？

問題二：既然薄膜是變色的，而且要測透光率，我們學校可沒有紫外光-可見光吸收光譜儀什麼的，而且也沒臨近什麼大學，問過附近高中，他們也沒有這種儀器，所以，我們決定改裝去年學校自製開發的光敏電阻吸光儀變成多色光光罩光敏電阻吸光儀，用不同色光去檢測變色薄膜吸光後穿透至光敏電阻，光能強弱影響光敏電阻感光電阻的下降變化，而由偵測與光敏電阻串接的一般電阻電壓值，就可比較出透光率的大小。

目的六、自製變色薄膜與透光率及透光恢復率的檢測與分析

問題：塑膠材料的透光性不如玻璃，再沈積一些染料或還原析出的金屬原子，透光率可能就變更低了，尤其是，金屬是奈米級的物性及化性較不一樣，本來銀活性小，不易氧化，說不定，尺寸變小就氧化變黑而影響薄膜的透光率了呢！所以，我們想比較變色薄膜的透光率大小。

三、文獻回顧

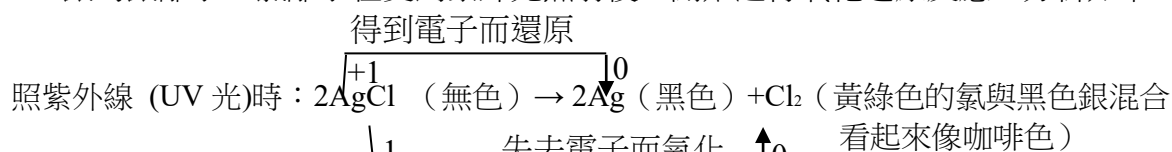
(一)變色薄膜的資料搜集與分析想法

1.研究變色薄膜的歷屆作品非常少，看了有點像的題目，查看了內容又都不是我們要參考的，查了好久，終於有一篇比較接近，但是，內容是固態壓片和軟式薄膜，固態壓片我們不考慮，軟式薄膜倒是可以好好研究，可是，他都用酒精去稀釋保麗龍膠，所以，藥品也要用酒精去配製囉？學校酒精是管制品，平常消毒桌面、地面都只能用稀釋的漂白水，只有消毒耳溫槍和每天早上進教室時，噴點在手上而已，我們和老師討論後，決定先用我們常用的膠水和白膠來試試看！

2.從參考作品⁷⁽²⁾的研究結果都只看到不是黑的就是白的，不是我們要的粉色薄膜，我們想，是否可以加一些變色顏料，老師說，那就不會透明了，而且她說，天然地最好！那就用天然染料或家裡種的植物試試看囉~參考文獻整理歸納分析如下：

(二)紫外線與鹵化銀的變色原理及氧化還原反應

1.黑白底片的感光劑為溴化銀，有些則是使用氯化銀或碘化銀不同的鹵化物，其對感光敏感度的順序為：溴化銀 > 氯化銀 > 碘化銀。變色鏡片內的主要材料是**氯化銀**，此氯化銀的銀離子、氯離子在受到紫外光照射後，開始進行氧化還原反應，分析如下：



2.鏡片內氯化銀的電子離開氯離子跑到銀離子上，使銀離子還原成銀原子，銀原子又結合成較大的膠體銀粒子，由於膠體銀粒子的光吸收及反射，因此使鏡片變暗。

∴當無紫外線(UV 光)時： 2AgCl (無色) \leftarrow 2Ag (黑色) + Cl_2 為逆反應

3. 光致變色：紫外光照射 UV 強度增加，膠體銀粒子得到電子而析出的濃度也增加，鏡片的顏色會由淺變深，而 UV 停止照射後，形成逆反應，活潑的氯分子會由銀原子處搶到電子變成氯離子、銀膠粒子便會氧化失去電子而變回銀離子，兩離子結合成為無色的氯化銀，變色眼鏡的黑色現象也會再度回到透明狀態。

(三)奈米銀

1. 奈米是長度單位，1 奈米等於 10^{-9} 公尺，約為頭髮直徑 10^{-5} !
2. 材料尺寸 < 100 奈米時，稱為「奈米材料」。且其物性及化性都會有很大的變化。
3. 奈米銀被製作成奈米顆粒，發現有明顯的抗菌效果，在利用上比銀離子更具潛力。

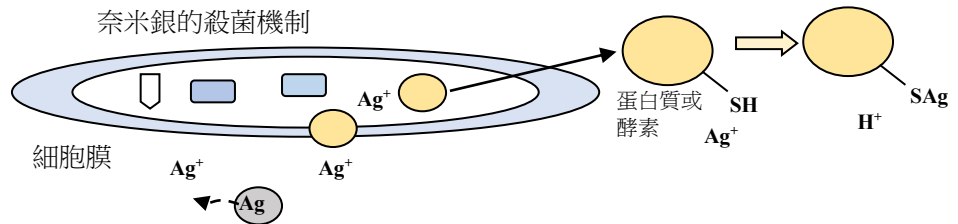
不同濃度之奈米銀 水溶液。



圖片來源：<http://www.abc-isp.com/index.php?table=prodlst&id=45>

- 課本上也說，銀是亮白色金屬，性質安定，銀用來製造貨幣、器皿或銀飾，也是電子工業及底片的感光材料。銀的導電性及導熱性良好，因為太貴，通常使用便宜的銅取代。
4. 銀經奈米化後，奈米銀粒子在溶液中可持續釋放出銀離子，可長期保有抗菌功能，又被喻為「永久性的殺菌劑」。舉凡日常生活用品、紡織衣物、化妝品的抗菌，到冷氣機、洗衣機、床單被

套、止血紗布或導管中添加奈米銀，可防止細菌的滋生及疾病的

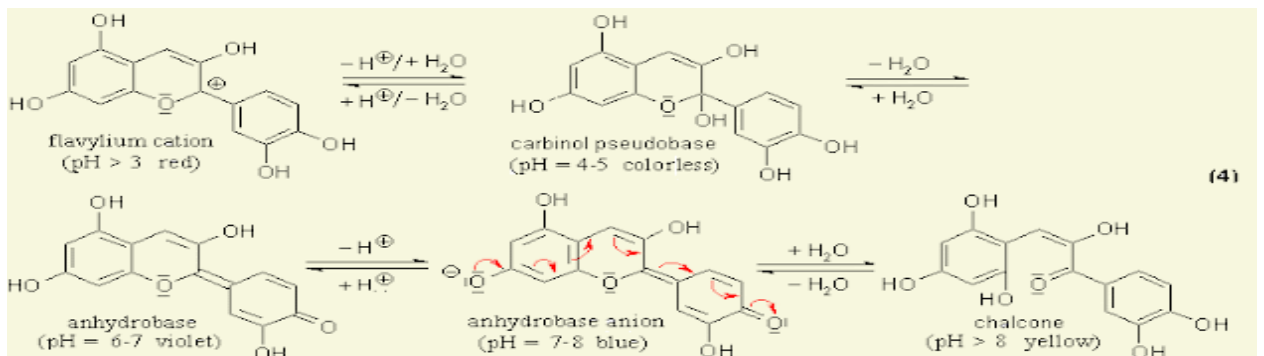


傳染，降低病人在手術時被病菌感染的機率。也許多研究報告指出奈米銀特殊的殺菌機制，不會有細菌產生抗藥性的問題。如右上圖示。

5. 奈米銀顆粒小，安定性不佳，容易聚集成大顆粒，而降低抗菌效果。所以，如何把奈米銀均勻地分散在材料中，是製作奈米銀產品的最大課題。我們要做的薄膜也是一樣的！

(四) 花青素電子的傳遞圖片

1. 花青素於不同酸鹼值的呈色原理如下：



花青素在強鹼條件下的結構及其顏色變化：pH > 3，酸性，紅色；pH 4~5，微酸性，無色；pH > 8，鹼性，黃色。（圖片來源：http://www.uni-r.de/Fakultaeten/nat_Fak_IV/Organische_Chemie/Didaktik/Keusch/Grafik/anthpH1e.gif）

2.花青素在不同 pH 值環境下，共軛結構產生電子的傳遞效應，使得吸收波長改變而顯現不同的顏色。

植物色素的吸收光譜

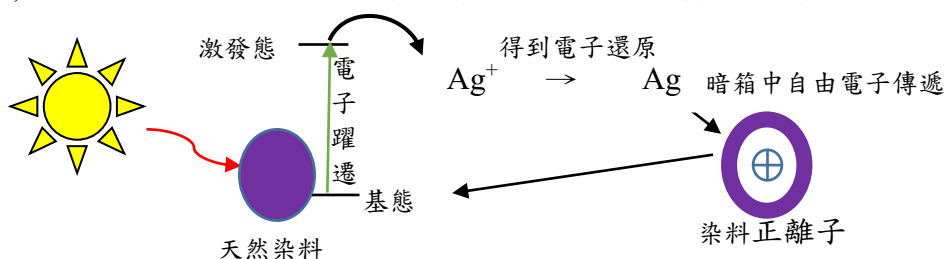
植物色素	吸收光線		呈色
	顏色	波長 (nm)	
葉綠素	紅光、藍光	640~660 : 420~430	綠色
胡蘿蔔素、葉黃素	藍光、藍綠光	466 : 497	黃色
花青素	藍光、藍綠光、綠光	500	紅色

物質的呈色機制

顏色	吸收光波			物質呈色
	波長 (nm)	頻率 (s ⁻¹)	光子能量 (J · photon ⁻¹)	
紫色光	425	7.1 x 10 ¹⁴	4.7 x 10 ⁻¹⁹	黃色
藍色光	475	6.3 x 10 ¹⁴	4.2 x 10 ⁻¹⁹	橙色
藍綠光	500	6.0 x 10 ¹⁴	4.0 x 10 ⁻¹⁹	紅色
綠色光	525	5.7 x 10 ¹⁴	3.8 x 10 ⁻¹⁹	紫紅色
黃色光	575	5.2 x 10 ¹⁴	3.4 x 10 ⁻¹⁹	紫色
橙色光	625	4.8 x 10 ¹⁴	3.2 x 10 ⁻¹⁹	藍色
紅色光	700	4.3 x 10 ¹⁴	2.8 x 10 ⁻¹⁹	藍綠色

圖示來源：蔡尚恬 中興大學昆蟲學系 蔡振章 高雄大學應用化學楓葉變紅了-天然色素的顏色化學《科學發展》2004年9月，381期，54~59頁

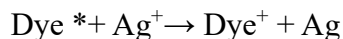
(五)綜合以上，本作品的創新染敏奈米銀變色膜設計概念如下：



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 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⁺)：



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(Ag^+ 離子態)變成半透明或不透明(奈米銀原子析出)的變色膜。

(六)認識我們使用的天然染料

1.墨水樹

(1)墨水樹染料成份：蘇木精結構蘇木精色素，其分子式為 $\text{C}_{16}\text{H}_{14}\text{O}_6$ 木材及樹皮中的蘇木精為優秀染料，是一種花青素，常用於細胞染色或衣物。(維基百科 <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%A2%A8%E6%B0%B4%E6%A8%B9>)



(2)OH 可以抓住金屬鹽，而物質顯

色原理就是吸附可見光中的某段波長，所以人眼看到的顏色是該物質所吸收光的補色。

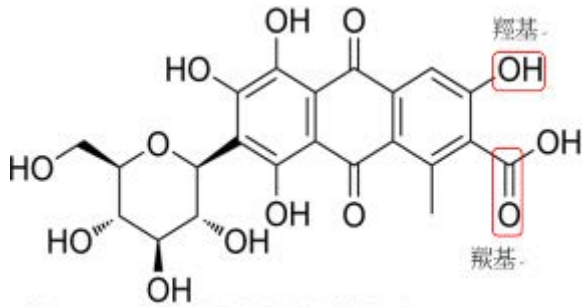
茜素結構 (alizarin, 存在於茜草根內)。

2. 茜草根內的茜素

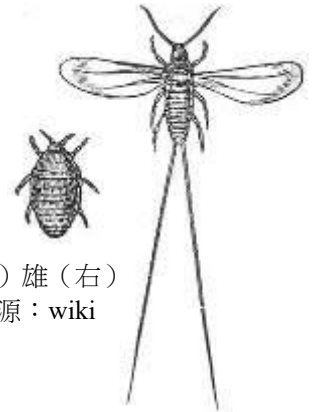


(圖片來源: wiki)

3. 胭脂蟲中的胭脂紅酸



來源: wiki) 胭脂紅酸(圖片來源: wiki)



雌(左) 雄(右)
圖示來源: wiki

胭脂蟲雌蟲體內會分泌胭脂紅酸的水溶性色素, 如右圖。通常寄生在

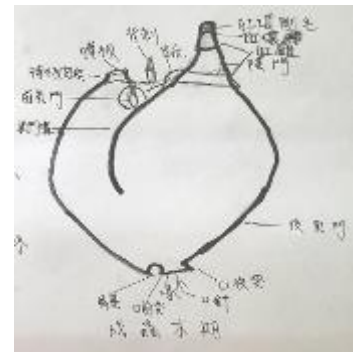
印榕仙人掌上白色部分的胭脂蟲, 萃取方式是將胭脂蟲製成乾體再將其碾碎熬煮, 或是直接熬煮至溶液達到深紅, 置於太陽下曬乾後形成黑色胭脂紅, 貯藏一段時間後, 轉變為銀色胭脂紅。此色素在酸性下呈黃橙色, 在鹼性下呈紅紫色, pH 若於 5.0~7.0 時, 顏色變成紅色。

4. 紫膠蟲

(1) 紫膠蟲是資源昆蟲, 主要依靠雌蟲由腺體分泌出純天然的紫膠樹脂。喜溫暖和背風向陽的環境。業者在 4~5 月間的夏代放養, 5 個月後便可採收紫膠; 9~10 月的冬代放養, 第二年的 4~5 月收膠。

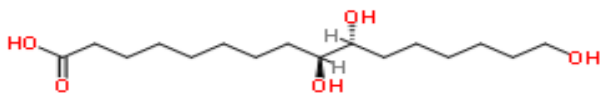
(2) 紫膠蟲吸食寄主植物的汁液中, 常將多餘的糖分從肛門排出體外, 呈露珠狀的蜜露, 常招引螞蟻前來舔食, 也容易使植物產生烟煤病, 影響寄主植物的正常生長。

(3) 紫膠蟲包裹於紫膠樹脂內, 如右圖, 此樹脂是一種由羥基羧酸的內酯和膠酯構成的固體溶液。結構很複雜, 紫膠樹脂的平均分子量約為 1000, 可以用 $C_{60}H_{90}O_5$ 表示。它是一種酸性樹脂, 其平均分子中至少含有 1 個游離羧基、5 個羥基、3 個脂基和一個醛基。



仿畫圖示來源: wiki

(4) 紫膠樹脂殼敲碎內紫膠蟲的蟲膠酸, 分子式為 $C_{16}H_{32}O_5$, 分子量 304.43, 白色或淺黃色結晶粉末, 易溶於熱水, 不溶於冷水, 其中一種結構如下:



圖示來源: wiki 染料除了酸鹼性的因素會變色

外, 是不是混合奈米銀也會發生顏色變化呢, 我們覺得變色膜真的是愈來愈有趣了。

貳、 研究設備及器材

研究一

硝酸銀、50 mL 燒杯、100 mL 量瓶、100 mL 量筒棕色瓶、標籤、墨水樹、自製布袋、500mL 燒杯、塑膠滴管、電磁攪拌器、培養皿、數位顯微鏡 Dino-Lite、電腦、硫酸銅、計時器。

研究二

膠水、白膠、保龍膠、硝酸銀、氯化銅、酒精、電腦 Microsoft Word、自製 24 格十字圓投影片三張、硬質回收的塑膠盒、電子秤、酒精、布丁塑膠匙、墨水樹染劑

研究三

七段 50cm 長 L 型角鋼、50cm 長平鋼四段、適合鎖孔的螺絲及中孔圓片、螺帽、彩色 PP 板裁、泡棉膠黏、黑色壁報紙、直尺、自製 8cm * 8 cm 方型式煙囪排氣口兩個、回收報廢的電腦排風扇、熱熔膠槍及熔膠、泡棉膠、報廢電器的變壓器(5V)、自組的紅黑鱷魚夾線、魔鬼粘、自組 A4 投影片多層中空智高積木置物架、小灰底盤、自製的小型抽氣乾燥暗箱

研究四

3W 鋁基板 LED 燈、12V 變壓器(1A 及 2A)、紅黑鱷魚夾頭、紅黑導線、焊槍及焊錫、自製智高積木雙層支撐架、西卡紙、黑色壁報紙、自製光照機

研究五

小麵包板 10mm 光敏電阻、一般電阻、六段電源供應器、三用電錶、紅黑正負極鱷魚夾接線、回收的紙湯杯、剪刀、智高積木支架、黑色壁報紙、白膠、小刀、四支三孔鍵、兩支雙黃十孔條、西卡紙、三燈 LED 燈條、LED 十六色光控制器、12V 變壓器、黑色膠帶、自製多色光光罩光敏電阻吸光儀(自製光罩機)

GY-33 顏色感測器、焊槍及焊錫、杜邦排線、感測器四支接腳轉 USB 插頭、標準色卡(白色、紅、綠、藍、黑色)、白紙、筆記型電腦、電腦白平衡校正等趨動程式

研究六

墨水樹、茜草、胭脂蟲、紫膠蟲、蘆薈、左手香、硝酸銀、硫酸銅、氯化銅、氯化鈉、氯化鈣、氯化鉀、電子秤、量匙、量瓶、燒杯、量筒、棕色瓶、滴管、自製布袋、電磁攪拌器、標籤、奇異筆、試管架、試管、塑膠滴管、微量滴管、氯化鈉、硝酸銀、離心管及離心機、果汁機、電子秤、回收布丁杯、布丁匙、自製 AgCl 固體沉澱物、樹脂、以 Microsoft Word 繪製十字圓列印的投影片、自製樹脂凝膠(氯化銀、墨水樹、茜草、紫膠蟲、左手香、蘆薈、氯化銅) 八格十字圓的投影片六張、自製硝酸銀的樹脂+墨水樹染液等各配方膠膜十字圓投影片(配方膠膜改為觀察硝酸銀與①墨水樹、②KCl 溶液、③CaCl₂ 溶液、④CuCl₂ 溶液、⑤墨水樹+CuCl₂ 溶液、⑥蘆薈染液+CuCl₂ 溶液、⑦紫膠蟲染液、⑧紫膠蟲染液+ CuCl₂ 溶液、⑨胭脂蟲染液、⑩胭脂蟲染液+ CuCl₂ 溶液產生奈米銀膠的變色膜共 12 格十字圓的投影片十張、自製不同層數及不同液滴量配方膠膜共七張

參、 研究過程或方法






研究一、銀離子與天然染劑的還原性研究

(一)硝酸銀的濃度配製及稀釋

1. AgNO_3 分子量=170，配製 0.5 M 0.1 L 所需的 AgNO_3 為 $W=(M) \cdot M \cdot V = 0.5 \cdot 170 \cdot 0.1 = 8.5 \text{ g}$
準備 50 mL 燒杯，先倒入一些水，然後將 8.5 g 的 AgNO_3 倒入水中，攪拌溶解後，倒入 100 mL 的量瓶中，加水稀釋至刻度線上，蓋上瓶蓋，搖勻後倒入棕色瓶中蓋好，貼上標籤備用。

2.稀釋 AgNO_3 溶液

取準備 1 之 0.5M $\text{AgNO}_3(\text{aq})$ 【設為 A 液】以水稀釋比例如下：

	0.1M A 液	0.2M A 液	0.3M A 液	0.4M A 液	0.5 M A 液
					
A 液=0.5M $\text{AgNO}_3(\text{aq})$ (mL)	<u>2</u>	<u>4</u>	<u>6</u>	<u>8</u>	<u>10</u>
水(mL)	<u>8</u>	<u>6</u>	<u>4</u>	<u>2</u>	<u>0</u>

3.將 10 克的墨水樹裝在自製布袋內，袋口拉緊，置於裝有 250mL 常溫水的杯中。

4.將此杯置於電磁攪拌器上啟動溫度開關至 80°C ，當溫度達至 80°C 時，開始計時高溫萃取色液 10 分鐘，自然冷卻後裝瓶貼標備用。

(二)銀離子與天然染劑的還原性實驗

實驗一、硝酸銀溶液與墨水樹汁光照的還原性反應

步驟：

1. 準備 5 個加蓋的培養皿，貼上標籤記錄，每個培養皿內依序加入各濃度 0.1~0.5M 的硝酸銀溶液 1 mL 及 1mL 的墨水樹染液。
2. 將數位顯微鏡 Dino-Lite 的電腦驅動程式安裝後，啟動程式，調整鏡頭焦距，觀察步驟 1 的影像至清晰的放大倍率。
3. 將步驟 1 混合液置於室外陽光下光照 1 分鐘後，取再以 Dino-Lite 鏡頭拍照記錄。
4. 同步驟 3，光照 10 分鐘後拍照。
5. 配製 0.1 M 的硫酸銅溶液，也取 1 mL 置於培養皿中，再加入 1mL 的墨水樹染液，貼標。
6. 同步驟 3，光照 1 分鐘後拍照。

研究二、自製變色薄膜的分散劑及溶劑比較初測

實驗二、自製變色膜的分散劑及溶劑比較

步驟：

- 1.先配製 0.1M 的硝酸銀和 0.1M 的氯化銅溶液備用。
- 2.在 Microsoft Word 的 A4 版面上畫出 24 格內有十字圓可聚焦置放膠液的圖表，印在投影片上。
- 3.使用硬質回收的塑膠盒，放在電子秤上歸零，依序加入 20g 保龍膠和 5g 酒精，然後快速的以硬質回收的布丁塑膠匙攪拌，先塗抹第 1 格對照。攪拌 20g 保龍膠和 5g 酒精

- 接著加入 1mL0.1M 的硝酸銀快速攪拌均勻後，塗抹第 1 格，再滴入 2 滴的墨水樹染劑，塗抹第 2 格，接下來依次加入 2 滴的 0.1M 的氯化銅溶液，到第 15 格時，已無法再上膠了。
- 同步驟 3，將保龍膠改成白膠或膠水、酒精改成水，如步驟 4 的操作。

研究三、自製抽氣乾燥暗箱的設計

實驗三、設計自製的抽氣乾燥暗箱

步驟：

- 到水電材料行請老闆裁切七段 L 型角鋼，每段 50cm 長，再裁切平鋼四段，每段 50cm 長，還有適合鎖孔的螺絲及中孔圓片、螺帽等，組裝成正立方型鋼架。
- 買彩色 PP 板裁切出比角鋼架略小的規格五片，先以泡棉膠黏貼於鋼架左、右、底、後的四個位置。
- 內層貼完黑色壁報紙後(粗糙面向外，光面則貼在 PP 板上)，第五片中後方先裁切出等距 8cm * 8 cm 的排氣口，切割時略在畫線內，以更能更緊的鉗住兩個回收報廢的電腦排風扇，並以熱熔膠槍及熔膠固定，內面也以黑色壁報紙黏貼。
- PP 板做兩個像方型式煙囪的排出口，用泡棉膠黏貼於排氣口，再以熱熔膠槍及熔膠固定。
- 將報廢電器的變壓器接上兩條自組的紅黑鱷魚夾線，將兩個電腦排風扇接頭剪掉，電路並聯接法，接上自組的紅黑鱷魚夾線，用一個變壓器供兩個小型排風扇使用，測試果然兩個都抽出微風即可，最後以剩下的 PP 板、黑色壁報紙、魔鬼粘沾組成上掀式的外門。
- 以智高積木組合成 A4 投影片多層中空置物架，小灰底盤則可放置小片的護貝膠膜。
- 置放實驗用 A4 投影片及護貝膠膜。
- 測試自製小型抽氣暗箱裝置的功能是否成功。

研究四、自製光照箱的設計

實驗四、設計自製的光照裝置

步驟：

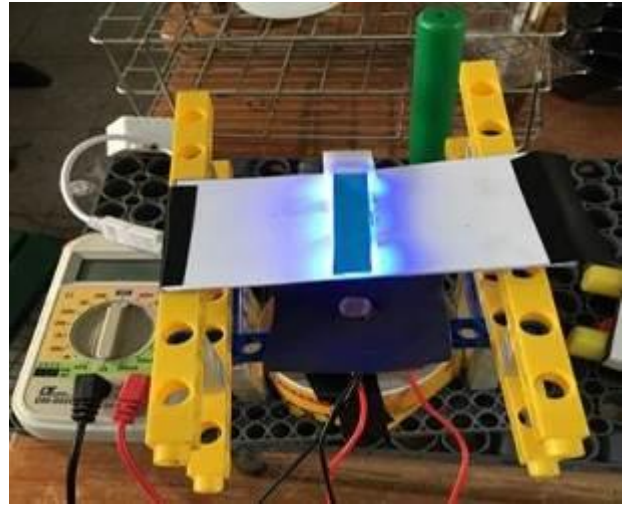
- 到電料行購買 3W 鋁基板 LED 燈及 12V 變壓器(1A 及 2A)備用。
- 準備紅黑鱷魚夾頭各 4 個，各接上 10cm 長紅黑導線，一邊是夾頭，另一邊則各焊接上 3W 鋁基板 LED 燈的正、負端
- 以智高積木做成雙層支撐架，上層加兩支 10 孔長條及五孔方格積木支撐四顆藍、綠、白、白光 3W 鋁基板 LED，這四顆 LED 的間距，各對準四格十字圓投影片凝膠膜的中心點。
- 四顆 3W 鋁基板串接後的兩端各接 12 V 變壓器的正、負端，使每顆分配的電壓強度約 3V(未超過每顆最高負載 3.75 V 的電壓)。
- 支撐架的下層以以西卡紙折成口字型後的載物臺，長寬以能放四格十字圓投影片凝膠膜的長寬為原則。
- 以西卡紙內貼黑色壁報紙做成光照臺的長方盒蓋。
- 測試自製光照裝置的功能是否成功。

研究五、自製多色光光罩光敏電阻吸光儀及鑑色儀 RGB 校正及轉換

實驗五、自製多色光光罩光敏電阻吸光儀

步驟：

- 1.我們將小麵包板插上 10mm 光敏電阻，並串接與它電阻相近的一般電阻，在光敏電阻及一般電阻串接的兩端分別接上六段電源供應器，而在一般電阻兩端則再接三用電錶的正負極接線。
- 2.把回收的紙湯杯口以剪刀剪約 1/3 深的八刀，將其內折以配合麵包板上光敏電阻恰好搭到智高積木支架的高度。
- 3.貼上黑色雙層壁報紙 (中間以白膠黏貼)，等待乾燥後，切出比 10mm 光敏電阻略大一點的洞，讓光敏電阻可以接收上方燈條的燈光光源。
- 4.以對稱的四支三孔鍵做成支架，再加兩支雙黃十孔條，西卡紙剪成與三燈 LED 燈條長度同寬的大小，長度以能架在兩支雙黃十孔條間。
- 5.西卡紙貼上同規格的黑色壁報紙，非光面在外，只開中間燈的孔，置於光敏電阻的正上方，然後對準光敏電阻的位置後固定之。
6. LED 燈條接 LED 十六色光控制器，控制器接上 12V 變壓器，接上電源後，以 LED 遙控器對準紅外線感測接收端測試各燈光的運作是否正常，如右上圖。
- 7.將光敏電阻及一般電阻串接的接上六段電源供應器插上電源，開啟與一般電阻兩端相接的三用電錶至 20V 的位置，六段電壓切 3V 位置，LED 遙控器依序按綠光、紅光、藍光、白光，一一記錄一般電阻兩端的分壓。
- 8.同步驟 7，可換切 4.5V 至 12V 測定各色光光罩後，光敏電阻感光電阻下降不同，可記錄出一一般電阻兩端的分壓的變化。
- 9.以黃色長支架積木的第 3 孔貼上黑色吸光膠帶於孔的邊源，放置備好的白膠稀釋液(4：1)乾燥後十字圓投影片長條，西卡紙折剪成倒 U 型可蓋住一條 4 個十字圓的投影片大小，並於第 3 孔的位置切出比黃色長支架孔洞相近的洞，洞的邊緣貼上也有開孔的黑色吸光壁報紙。
- 10.以白紅綠藍四色光光罩光敏吸光儀偵測不同電壓下光敏電阻串接一般電阻的分電壓大小記錄如表一。(圖一)



實驗六、鑑色儀 RGB 校正及轉換

步驟：

1. GY-33 顏色感測器感光元件為 TCS34725，其四支脚位 ⓄGND：連接電源的正極，ⓄVCC：連接電源的正極，ⓄDR：串列連接埠的功能切換(UART/IIC)，NC：空脚位，可以用四線杜邦排線接上感測器的四支接腳，再連接感測器轉 USB 插頭的四支接腳後備用。
- 2.準備標準色卡(白色、紅、綠、藍、黑色)、白紙、筆記型電腦，下載 GY-33 顏色感測器的驅動程式備用。
- 3.以連接 GY-33 顏色感測器的 USB 插頭端插入已開機的電腦，開啟 GY-33 感測器的驅動程式。

- 4.以白色標準色卡先進行白平衡校正，RGB 數值應皆為 255，接著再依讀取紅、綠、藍、黑色四色卡的 RGB 值。
- 5.以網站顏色代碼轉換器輸入 RGB 值，由網站提供轉換公式自動運算出 HSV（或 HSB）值，製表二。(圖二)

研究六、自製變色薄膜與透光率及透光恢復率的檢測與分析

實驗七、觀察產生 AgCl 固體微粒的外觀及固液分離

步驟：

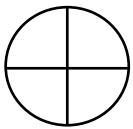
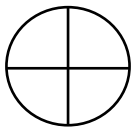
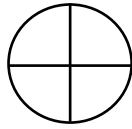
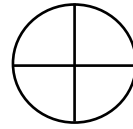
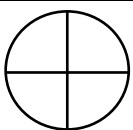
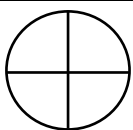
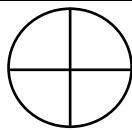
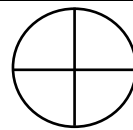
- 1.試管架上放置十支乾淨的試管，貼標。
- 2.配製 0.02 M~0.1M NaCl 10m L 及計算各濃度完全還原所需的 0.02M AgNO₃ 體積及可析出的奈米氯化銀個數，這樣各離心管 溶液總體積會不同。
- 3.所以，同濃度的氯化鈉鹽類就要與同濃度同 10 m L 體積的硝酸銀進行置換反應，以維持每管總體積均為 20 m L，只是 AgCl 析出量不同。

實驗八、觀察 AgCl 膠體照光或染敏 AgCl 膠體照光的變色膜情形

步驟：

- 1.將實驗四離心管的上層澄清液小心吸取集中廢液回收，下層固形物加水在離心機內離心，反覆沖洗三次後只剩固體 AgCl 加約 5mL 的水後備用。
- 2.用吸管抽放三次後，將混濁物抽吸到 20g 的樹脂混合非常均勻後備用。
- 3.將含氯化銀的樹脂凝膠分成六等份在硬質的布丁杯內，加蓋貼標。
- 4.其中 1/6 氯化銀的樹脂凝膠準備八格十字圓的投影片如下：

(1) 氯化銀的樹脂凝膠+0~6 滴的墨水樹染液

對照組 AgCl 凝膠	AgCl 凝膠+1 滴墨水樹	AgCl 凝膠+2 滴墨水樹	AgCl 凝膠+3 滴墨水樹
			
對照組 AgCl 凝膠	AgCl 凝膠+4 滴墨水樹	AgCl 凝膠+5 滴墨水樹	AgCl 凝膠+6 滴墨水樹
			

也準備以下(2)~(6)各溶液的八格十字圓的投影片。(2)+0~6 滴的蘆薈凝膠液 (3)+0~6 滴的茜草染液 (4)+0~6 滴的左手香萃取液 (5)+0~6 滴的紫膠蟲染液 (6)+0~6 滴的 0.1M CuCl₂ 溶液

實驗九、以鑑色儀比較觀察 AgCl 膠體照光或染敏 AgCl 膠體照光的變色膜 RGB

步驟：

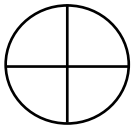
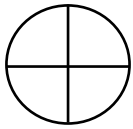
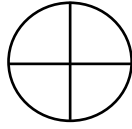
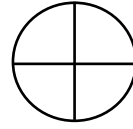
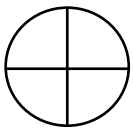
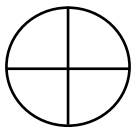
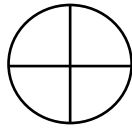
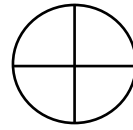
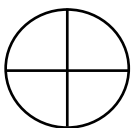
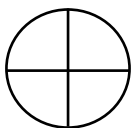
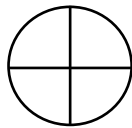
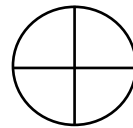
1. GY-33 顏色感測器以白平衡校正後，放置在下方為白紙，上方為氯化銀的樹脂凝膠+墨水樹染液各色膜投影片十字圓的中心，一一記錄筆記型電腦上色塊上的 RGB 值。
- 2.鑑色儀是以 GY-33 顏色感測器校正後，快速測出變色膜上同樣區塊面積的 RGB 值。

- 3.同步驟 1，換(2) 0~6 滴的蘆薈凝膠液~(6) +0~6 滴的 0.1M CuCl_2 溶液，記錄 RGB 值。
- 4.將各投影片配方膠膜置於自製光照箱一分鐘後，再用 GY-33 顏色感測器記錄色塊上的 RGB 值。
- 5.同步驟 4，再置於光照箱內照二或三分鐘。

實驗十、觀察硝酸銀與其它染液或溶液產生奈米銀膠照光的變色膜情形

步驟：

- 1.同前實驗步驟，只是配方膠膜改為觀察硝酸銀與其它染液或溶液產生奈米銀膠的變色膜情形。
- 2.先配製樹脂稀釋液，再加 1 mL 0.1M AgNO_3 後，分裝成各 2.5mL 10 份，每份分配如下：
(1) 0.1M AgNO_3 +0~11 滴的墨水樹染液，12 格十字圓的投影片如下：

對照組 AgNO_3 凝膠	AgNO_3 膠+1 滴墨水樹	AgNO_3 膠+2 滴墨水樹	AgNO_3 膠+3 滴墨水樹
			
AgNO_3 膠+4 滴墨水樹	AgNO_3 膠+5 滴墨水樹	AgNO_3 膠+6 滴墨水樹	AgNO_3 膠+7 滴墨水樹
			
AgNO_3 膠+8 滴墨水樹	AgNO_3 膠+9 滴墨水樹	AgNO_3 膠+10 滴墨水樹	AgNO_3 膠+11 滴墨水樹
			

- (2) (12 格十字圓的投影片略) 0.1M AgNO_3 +0~11 滴的 0.1M KCl 、 CaCl_2 或 CuCl_2 溶液；
0.1M AgNO_3 +0~11 滴的墨水樹、蘆薈、紫膠蟲染液、胭脂蟲染液；0.1M AgNO_3 + 2 滴的墨水樹、蘆薈、紫膠蟲染液、胭脂蟲染液+0~11 滴的 0.1M CuCl_2 溶液等共十份的配方膠
- 3.可於偵測 GY-33 顏色感測器記錄各十字圓色塊上的 RGB 值後，接下來做薄膜透光率實驗。

實驗十一、自製多色光光罩光敏電阻吸光儀偵測不同配方膠的一般電阻的分壓及 RGB

步驟：

- 1.六段電源供應器插上電源，以最省能源的 3V 電源操作，同前實驗，先配製樹脂稀釋液，再加 1 mL 0.1M AgNO_3 後，分裝成各 2.5mL 10 份，每份分配前實驗八：
(1) 1 mL 0.1M AgNO_3 +0~11 滴的墨水樹染液~(10) 1.0 mL 0.1M AgNO_3 +2 滴胭脂蟲染液+0~11 滴的 0.1M CuCl_2 溶液，其中(1)項做二層及三層膠膜
- 2.同實驗八，偵測 GY-33 顏色感測器記錄各十字圓色塊上的 RGB 值後，就立刻以光罩光敏電阻吸光儀偵測一般電阻的分壓。


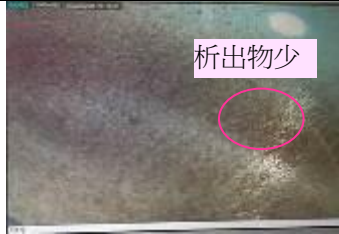




實驗十二、以自製光罩吸光儀偵測光照時間配方膠的透光率及透光恢復率檢測

- 1.將投影片配方膠膜置於光照箱照光一分鐘後，用 GY-33 顏色感測器記錄色塊上的 RGB 值及光罩光敏電阻吸光儀偵測一般電阻的分電壓。
- 2.配方膠膜置於乾燥暗箱每一分鐘後測 RGB 值及一般電阻的分電壓，連測三次。
- 3.配方膠膜置於光照箱下照二分鐘或三分鐘，再同步驟 1 及步驟 1 操作之。
- 4.線上查網將 RGB 轉由 HSV 記錄。

肆、 研究結果



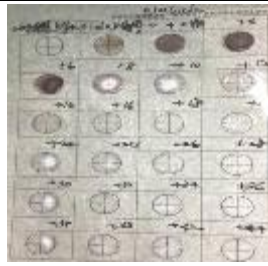
一、銀離子與天然染劑的還原性研究

實驗一、硝酸銀溶液與墨水樹汁光照的還原性反應

		
0.1M AgNO_3 加墨水樹汁光照 1 分鐘	0.5M AgNO_3 加墨水樹汁光照 1 分鐘	0.5M AgNO_3 加墨水樹汁光照 10 分鐘
		
0.1M CuSO_4 加墨水樹汁光照 1 分鐘	0.1-0.5 M AgNO_3 加墨水樹汁於室外陽光下光照 1 分鐘	0.1-0.5 M AgNO_3 加墨水樹汁於室外陽光下光照 10 分鐘

二、自製變色薄膜的分散劑及溶劑比較初測

實驗二、自製變色膜的分散劑及溶劑比較

保麗龍凝膠	膠水凝膠	白膠凝膠	分散劑	溶劑	比例
			保麗龍凝膠	酒精	4:1
只能塗抹至第 15 格	可塗抹滿 24 格，但流動性大	可塗抹滿 24 格，能定格在十字圓中	白膠	水	4:1
			膠水	水	4:1

白膠稀釋膠液順利塗滿所有的 24 格十字圓，後續研發實驗，都以白膠與水 4:1 比例操作。

三、自製抽氣乾燥暗箱的設計







實驗三、設計自製的抽氣乾燥暗箱

			
組裝正立方型鋼架。彩色 PP 板裁切出比角鋼架略小的規格五片，先以泡棉膠黏貼於鋼架左、右、	以 PP 板做兩個方型煙囪排出口。變壓器接上兩個電腦排風扇，並聯接法，以 PP 板、壁報紙、	以智高積木組合成 A4 投影片多層中空置物架，小灰底盤則可放置小片的護貝膠膜	置放實驗用 A4 投影片及護貝膠膜，完成圖

底、後的四個位置	魔鬼粘組成上掀式外門	
----------	------------	--



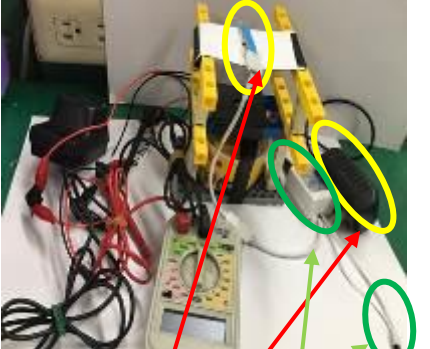
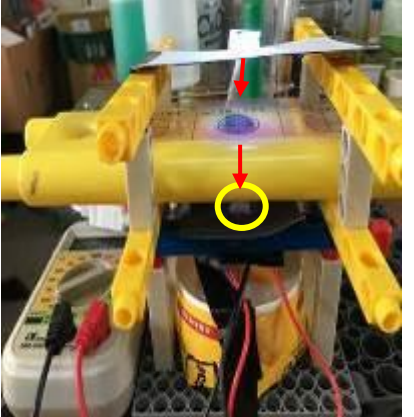
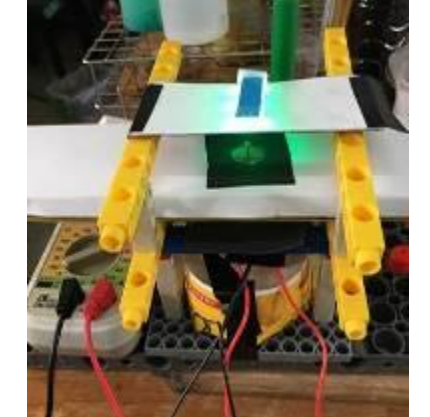
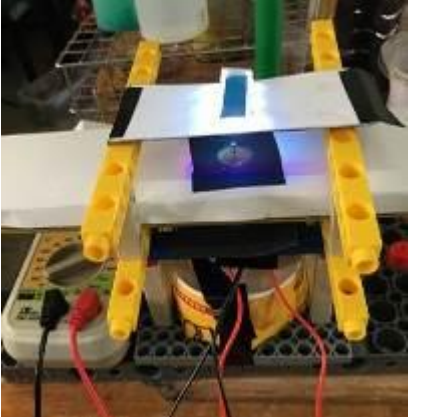
四、自製光照箱的設計

實驗四、設計自製的光照裝置(讓光源強度變成控制變因)

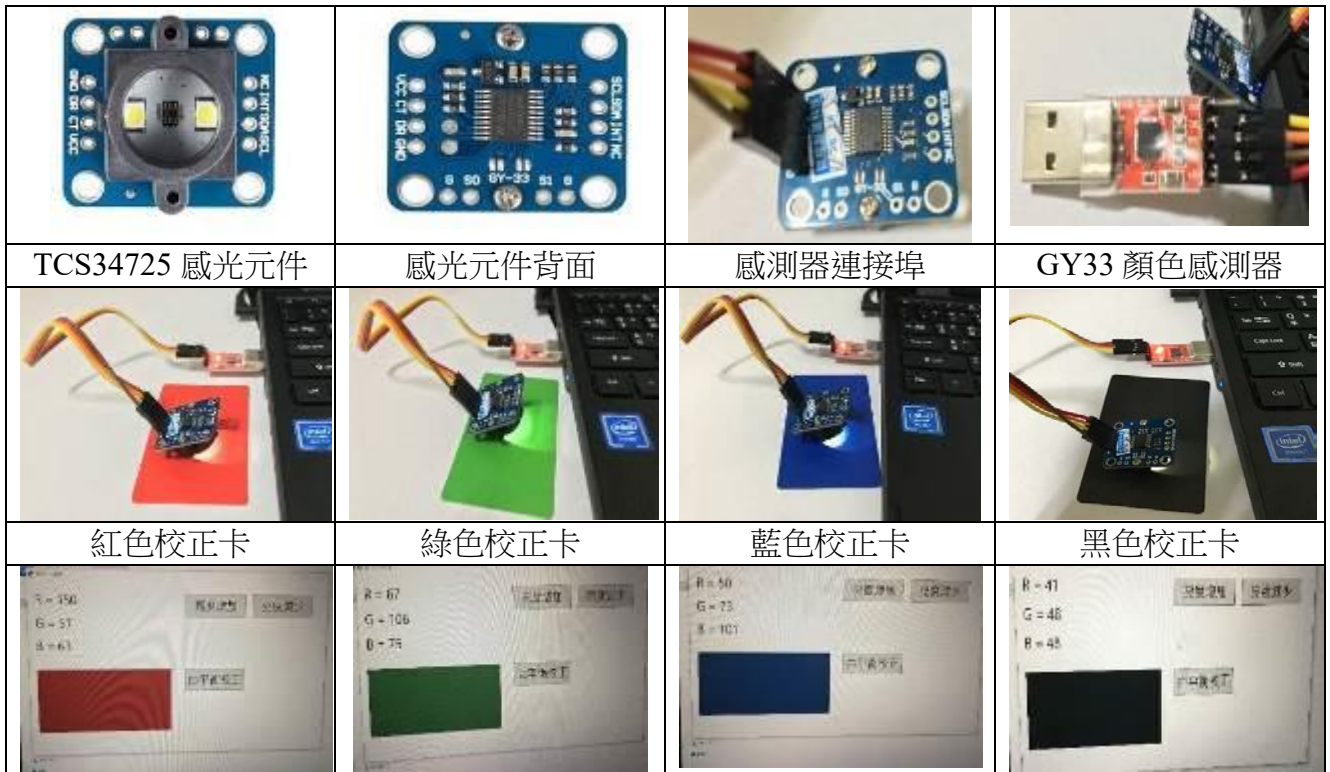
		
3W 鋁基板 LED 正面 背面	以智高積木做成雙層支撐架，串接四顆藍、綠、白、白光 3W 鋁基板 LED	12V 變壓器串接四顆 3W 鋁基板白光 LED
		
以西卡紙內貼黑色壁報紙做成長方盒蓋	自製變色膜四個十字圓投影片置於光源下方	取代日光、不怕陰雨及光源強度不一且配合自製變色膜四個十字圓投影片位置的白光光照裝置

五、比較自製多色光光罩光敏電阻吸光儀及鑑色儀 RGB 校正及轉換

實驗五、自製多色光光罩光敏電阻吸光儀

		
以智高長支架及西卡紙當四格十字圓配方膠膜投影片載物臺	光敏電阻周圍、 \cap 型西卡紙及支架孔洞均設黑色遮光路徑	LED 連三燈條接紅外線感測器外接 12V 變壓器
		
十字圓周圍應遮光，以避免被其它背景光干擾	做好開放式的遮光系統，就可方便做十字圓變色膜的照光偵測，每次偵測時，應將上下孔洞對好，讓光源可達光敏電阻上	

實驗六、GY33 感測器鑑色儀



實驗五及實驗六量測數據製表如下：

表一、以白紅綠藍四色光罩光敏吸光儀偵測不同電壓下光敏電阻串接一般電阻的分壓大小比較					表二、白紅綠藍黑五色卡在GY33感測器白平衡校正後的RGB及HSB值比較					
電壓大小	光敏電阻照白光	光敏電阻照紅光2	光敏電阻照綠光3	光敏電阻照藍光4	色卡	白色卡	紅色卡	綠色卡	藍色卡	黑色卡
3	3.29	2.12	2.32	1.23	R	255	150	67	50	41
4.5	4.72	3.07	3.35	1.78	G	255	57	106	73	48
6	6.19	4.03	4.37	2.33	B	255	63	75	101	48
7.5	7.5	4.9	5.28	2.81	H°	0	356	132	213	180
9	9.01	5.9	6.35	3.37	S%	0	62	36.8	50.5	14.6
12	11.81	7.76	8.35	4.41	B%	100	58.8	41.6	39.6	18.8

六、自製變色薄膜與透光率及透光恢復率的檢測與分析



實驗七、產生 AgCl 固體微粒的外觀及固液分離



實驗八、觀察 AgCl 膠體照光或染敏 AgCl 膠體照光的變色膜情形

實驗九、觀察 AgCl 膠體或染敏 AgCl 膠體照光的變色膜 RGB 結果如討論說明。

實驗十、觀察硝酸銀與其它染液或溶液產生奈米銀膠照光的變色膜、實驗十一、自製多色光光罩光敏電阻吸光儀偵測不同配方膠的一般電阻的分壓及 RGB 以及實驗十二、以自製光罩吸光儀偵測光照時間配方膠的透光率及透光恢復率檢測結果綜合如下共 66 個實驗記錄表。

表三、0.1MAgNO₃+0-11滴的曙紅染料混合樹脂膠體的RGB及HSB值比較

滴數	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
R	255	224	216	203	210	180	166	153	193	178	158	125
G	255	249	246	231	239	210	191	189	203	208	108	148
B	255	255	255	255	255	222	232	204	210	242	164	125
H°	0	192	194	208	201	197	217	198	205	212	294	120
S%	0	12.2	15.3	20.4	17.6	18.9	28.4	25	8.1	26.4	34.1	15.5
B%	100	100	100	100	100	87.1	91	80	82.4	94.9	64.3	58

表五、1.0mL 0.1MAgNO₃+0-11滴的0.1M KCl 混濁混合樹脂膠體的RGB及HSB值比較

滴數	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
R	245	246	250	250	233	235	249	253	237	250	221	209
G	255	255	255	255	252	255	255	255	254	255	238	239
B	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255
H°	180	180	180	180	188	180	180	180	183	180	210	201
S%	3.9	5.9	2	2	8.6	7.8	2.4	8.8	7.1	2	13.3	18
B%	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

表七、0.1MAgNO₃+0-11滴的0.1M CuCl₂ 混濁混合樹脂膠體的RGB及HSB值比較

滴數	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
R	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255
G	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255
B	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255
H°	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B%	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

表九、0.1MAgNO₃+0-11滴的0.1M CuCl₂ 混合樹脂膠體的RGB及HSB值比較

滴數	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
R	255	235	245	240	288	251	234	240	233	233	246	241
G	255	235	235	235	224	235	235	235	235	233	235	235
B	255	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235	235
H°	0	0	0	180	180	220	180	180	180	180	180	180
S%	0	0	0	3.9	5.9	18.4	1.6	6.3	5.9	8.6	8.6	3.5
B%	100	92.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

表十一、0.1MAgNO₃+2滴的曙紅染料+0-11滴的0.1M CuCl₂ 混合樹脂膠體的RGB及HSB值比較

滴數	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
R	255	246	239	229	213	212	167	240	220	224	207	204
G	255	235	241	239	225	226	180	235	234	239	217	208
B	255	235	235	225	225	217	204	235	231	231	219	249
H°	0	180	233	217	180	141	219	180	167	148	180	221
S%	0	3.5	6.3	10.2	5.3	6.2	18.1	5.9	6	6.3	5.5	18.1
B%	100	100	100	100	88.2	88.6	80	100	91.8	92.7	85.9	87.6

表十三、0.1MAgNO₃+2滴的曙紅染料+0-11滴的0.1M CuCl₂ 混合樹脂膠體的RGB及HSB值比較

滴數	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
R	255	225	199	238	241	240	223	164	185	250	217	203
G	255	212	218	255	255	255	255	209	203	255	248	233
B	255	242	252	255	255	255	237	228	255	255	255	255
H°	0	266	213	180	180	103	142	169	215	130	191	228
S%	0	12.4	21	6.7	5.5	7.3	12.3	24.4	18.9	2	14.9	20.4
B%	100	94.9	98.8	100	100	99.2	100	85.1	89.6	100	100	100

表十五、0.1MAgNO₃+0-11滴的曙紅染料混合樹脂膠體的RGB及HSB值比較

滴數	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
R	255	218	215	249	255	245	255	234	255	205	199	193
G	255	249	218	250	238	248	236	183	194	224	153	156
B	255	255	255	250	255	255	255	234	240	244	143	145
H°	0	190	236	180	300	232	300	315	211	347	34.9	
S%	0	14.5	15.7	0.4	6.7	3.9	7.5	19.7	23.9	26	23.1	19.2
B%	100	100	100	98	100	100	100	91.8	100	95.7	78	75.7

表十七、0.1MAgNO₃+2滴的曙紅染料+0-11滴的0.1M CuCl₂ 混合樹脂膠體的RGB及HSB值比較

滴數	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
R	255	175	165	161	159	155	147	155	210	133	159	222
G	255	195	175	192	147	169	164	150	211	148	154	240
B	255	205	201	192	125	162	144	163	249	149	165	252
H°	0	200	223	180	39	150	111	267	238	252	267	204
S%	0	14.6	17.9	16.1	21.4	8.3	12.2	8.8	15.7	46.6	6.7	11.9
B%	100	80.4	78.8	75.3	62.4	66.3	64.3	63.1	97.6	97.6	64.7	98.8

表十九、0.1MAgNO₃+0-11滴的曙紅染料混合樹脂膠體的RGB及HSB值比較

滴數	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
R	149	191	132	188	182	182	198	205	190	218	231	202
G	124	164	160	167	163	161	164	185	169	210	245	206
B	149	164	161	188	184	191	131	179	155	207	231	212
H°	300	0	182	300	357	281	30	15	24	16	120	216
S%	16.8	14.1	18	11.2	10.4	14.7	33.8	11.8	18.4	5	5.7	4.7
B%	58.4	164	63.1	73.7	71.4	74.9	77.6	79.6	74.5	85.5	96.1	83.1

表四、0.1MAgNO₃加不同滴數曙紅染料在不同色光光譜下，偵測光敏電阻器光後與之串接的一枚電阻分壓值比較

加量光敏電阻	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
綠光下電阻(%)	0.44	0.38	0.55	0.67	0.71	0.61	0.55	0.36	0.57	0.54	0.46	0.5
紅光下電阻(%)	0.51	0.41	0.58	0.63	0.7	0.6	0.52	0.38	0.55	0.53	0.45	0.49
藍光下電阻(%)	0.5	0.43	0.57	0.54	0.92	0.52	0.48	0.48	0.5	0.5	0.44	0.46
白光下電阻(%)	0.78	0.84	0.94	1.07	1.28	1.05	0.91	0.5	0.95	0.92	0.75	0.81

表六、0.1MAgNO₃加不同滴數0.1M KCl 混濁液在不同色光光譜下，偵測光敏電阻器光後與之串接的一枚電阻分壓值比較

0.1M KCl 滴數	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
綠光下電阻(%)	0.62	0.7	0.62	0.52	0.77	0.68	0.55	0.36	0.57	0.54	0.46	0.5
紅光下電阻(%)	0.62	0.72	0.64	0.53	0.74	0.7	0.52	0.38	0.55	0.53	0.45	0.49
藍光下電阻(%)	0.51	0.58	0.55	0.47	0.6	0.57	0.49	0.48	0.5	0.5	0.44	0.46
白光下電阻(%)	1.05	1.25	1.08	0.87	1.25	1.22	0.91	0.5	0.95	0.92	0.75	0.81

表八、0.1MAgNO₃加不同滴數0.1M CuCl₂ 混濁液在不同色光光譜下，偵測光敏電阻器光後與之串接的一枚電阻分壓值比較

0.1M CuCl ₂ 滴數	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
綠光下電阻(%)	0.73	0.58	0.64	0.71	0.47	0.57	0.82	0.84	0.74	0.87	0.82	0.87
紅光下電阻(%)	0.73	0.57	0.7	0.72	0.51	0.53	0.86	0.85	0.74	0.78	0.83	0.89
藍光下電阻(%)	0.69	0.51	0.65	0.61	0.47	0.53	0.76	0.72	0.63	0.82	0.77	0.77
白光下電阻(%)	1.29	0.96	1.22	1.25	0.79	0.97	1.15	1.53	1.33	0.83	1.5	1.57

表十、0.1MAgNO₃加不同滴數0.1M CuCl₂ 混濁液在不同色光光譜下，偵測光敏電阻器光後與之串接的一枚電阻分壓值比較

0.1M CuCl ₂ 滴數	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
綠光下電阻(%)	0.78	0.82	0.7	0.75	0.81	0.76	0.69	0.65	0.87	0.52	0.69	0.68
紅光下電阻(%)	0.42	0.86	0.73	0.78	0.85	0.7	0.65	0.66	0.92	0.56	0.71	0.68
藍光下電阻(%)	0.65	0.72	0.6	0.63	0.66	0.62	0.66	0.58	0.76	0.47	0.57	0.58
白光下電阻(%)	1.39	1.5	1.23	1.33	1.39	1.31	1.2	1.12	1.59	0.88	1.19	1.16

表十二、0.1MAgNO₃+2滴曙紅染料加不同滴數0.1M CuCl₂ 混濁液在不同色光光譜下，偵測光敏電阻器光後與之串接的一枚電阻分壓值比較

0.1M CuCl ₂ 滴數	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
綠光下電阻(%)	0.69	0.62	0.67	0.7	0.69	0.53	0.69	0.49	0.59	0.63	0.63	0.49
紅光下電阻(%)	0.75	0.66	0.73	0.69	0.79	0.6	0.6					

表21. 0.1M AgNO₃+2滴的亞硝酸鈉液+0-12滴的0.1M CuCl₂混合液塗層的RGB及TSD值比較

波數	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
R	255	256	255	247	255	227	238	253	248	226	210	234
G	255	232	240	247	225	221	246	236	228	227	217	235
B	252	248	255	222	253	249	253	235	255	241	230	230
H	309	304	300	360	261	253	288	300	284	236	219	215
S ₁	7.6	11.2	5.9	10.1	11.1	11.2	5.9	7.8	10.6	6.2	8.7	11.3
S ₂	100	98	100	96.9	95.2	97.6	99.2	100	100	94.5	90.2	90.2

表23. 0.5 mL 0.1M AgNO₃+0-12滴的墨水樹染液，置於白光燈條的光罩下，光敏吸光後偵測串接一般電阻電壓值及透光率比較【透光率=B/A₀*100%】

0.5 mL 0.1M AgNO₃+0-12滴的墨水樹染液白光下電壓及透光率%比較

加墨水樹染液數	0	2	4	6	8	10	12
光照時間(分)	電壓(V)						
0	A	1.48	1.33	1.22	1.15	1.15	1.13
1	B ₁	1.12	1.13	1.05	0.81	0.81	0.79
2	B ₂	0.86	0.87	0.78	0.71	0.71	0.73
3	B ₃	0.79	0.76	0.69	0.57	0.7	0.57
光照1分鐘的透光率%		75.68	76.35	70.95	54.73	54.73	53.38
光照2分鐘的透光率%		58.11	58.78	52.70	47.97	47.97	49.32
光照3分鐘的透光率%		53.38	51.35	46.62	38.51	40.54	38.51

表23-0.5 mL 0.1M AgNO₃+0-12滴的墨水樹染液，置於白光燈條的光罩下，光敏吸光後偵測串接一般電阻電壓值及透光率比較【透光率=B/A₀*100%】

0.5 mL 0.1M AgNO₃+0-12滴的墨水樹染液白光下電壓及透光率%比較

加墨水樹染液數	0	2	4	6	8	10	12
光照時間(分)	電壓(V)						
0	A	1.48	1.33	1.22	1.15	1.15	1.13
1	B ₁	1.12	1.13	1.05	0.81	0.81	0.79
2	B ₂	0.86	0.87	0.78	0.71	0.71	0.73
3	B ₃	0.79	0.76	0.69	0.57	0.7	0.57
光照1分鐘的透光率%		75.68	76.35	70.95	54.73	54.73	53.38
光照2分鐘的透光率%		58.11	58.78	52.70	47.97	47.97	49.32
光照3分鐘的透光率%		53.38	51.35	46.62	38.51	40.54	38.51

表25-1 0.5 mL 0.1M AgNO₃+0-12滴的墨水樹染液光照不同時間白光光罩下串接一般電阻分電壓及透光率%比較

加墨水樹染液數

光照時間(分)	電壓(V)	0	2	4	6	8	10	12
0	A	1.863	1.79	1.58	1.49	1.278	1.127	1.01
圖示								
1	B ₁	1.681	1.663	1.376	1.109	0.986	0.794	0.781
2	B ₂	1.494	1.528	1.264	0.9	0.847	0.695	0.686
3	B ₃	1.469	1.485	1.238	0.875	0.832	0.651	0.618
光照1分鐘的透光率%		90.23	89.26	73.86	59.53	52.93	42.62	41.92
光照2分鐘的透光率%		80.19	82.02	67.85	48.31	45.46	37.31	36.82
光照3分鐘的透光率%		78.85	79.71	66.45	46.97	44.66	34.94	33.17

表25-3 光照2分鐘時間製於暗櫃不同時間下，回測製於白光燈條的光罩下，光敏吸光後偵測串接一般電阻電壓值透光率比較(比較光照的透光恢復率)

0.5 mL 0.1M AgNO₃+0-12滴的墨水樹染液白光下電壓及透光率%比較

加墨水樹染液數	0	2	4	6	8	10	12
暗櫃時間(分)	電壓(V)						
0	A ₀	1.863	1.79	1.58	1.49	1.278	1.127
0	A	1.494	1.528	1.264	0.9	0.847	0.695
1	B ₂₋₁	1.499	1.535	1.269	0.994	0.875	0.71
2	B ₂₋₂	1.61	1.599	1.359	1.008	0.908	0.753
3	B ₂₋₃	1.686	1.715	1.384	1.054	0.986	0.796
光照2分鐘後透光率%		80.19	82.02	67.85	48.31	45.46	37.31
暗櫃1分鐘後透光恢復		80.46	82.39	68.12	53.35	46.97	38.11
暗櫃2分鐘後透光恢復		86.42	85.83	72.95	54.11	48.74	40.42
暗櫃3分鐘後透光恢復		90.50	92.06	74.29	56.58	52.93	42.73

表25-5 不同厚度(100-300)nm 0.5 mL 0.1M AgNO₃+0-12滴的墨水樹染液白光下電壓及透光率%比較

墨水樹染液數

光照時間(分)	電壓(V)	100nm	200nm	300nm	100nm	200nm	300nm	100nm	200nm	300nm
0	A	1.863	1.782	1.198	1.58	1.206	1.011	1.278	0.976	0.9
1	B ₁	1.681	1.706	1.093	1.376	1.143	0.985	0.986	0.919	0.621
2	B ₂	1.494	1.629	1.039	1.264	0.993	0.954	0.847	0.815	0.59
3	B ₃	1.469	1.554	0.992	1.238	0.937	0.87	0.832	0.749	0.513
光照1分鐘的透光率%		90.23	85.74	91.24	73.86	64.14	62.22	52.93	51.57	51.84
光照2分鐘的透光率%		80.19	91.41	86.73	67.85	55.72	79.63	45.46	45.74	49.25
光照3分鐘的透光率%		78.85	87.21	82.80	66.45	52.58	72.62	46.66	42.03	42.82

表22. 0.1M AgNO₃+2滴的亞硝酸鈉液+不同濃度0.1M CuCl₂在不同色光光罩下，偵測光敏吸光後串接一般電阻分電壓比較

色光	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
白光下電壓(V)	0.52	0.59	0.52	0.48	0.65	0.56	0.55	0.52	0.58	0.57	0.56	0.59
紅光下電壓(V)	0.7	0.69	0.68	0.47	0.76	0.64	0.65	0.57	0.65	0.61	0.64	0.55
藍光下電壓(V)	0.53	0.55	0.54	0.45	0.65	0.62	0.55	0.47	0.63	0.54	0.55	0.49
白光下電壓(V)	1.00	1.09	1.06	0.82	1.32	1.14	1.03	0.9	1.29	1.03	1.07	0.97

表24. 不同層數0.1M硝酸銀+0-12滴的墨水樹染液光照不同時間白光光罩下串接一般電阻分電壓的比較

不同層數0.5 mL 0.1M AgNO₃+0-12滴的墨水樹染液白光下電壓及透光率%比較

加墨水樹染液數	0	2	4	6	8	10	12
光照時間(分)	電壓(V)						
0	A	1.48	1.48	1.48	1.22	1.19	0.99
1	B ₁	1.12	0.85	1.19	1.05	0.86	0.76
2	B ₂	0.86	0.86	1.03	1.49	1.49	0.6
3	B ₃	0.79	1.37	0.94	0.69	0.55	0.54
光照1分鐘的透光率%		75.68	70.95	80.41	70.95	58.11	51.35
光照2分鐘的透光率%		58.11	58.11	69.59	53.38	53.38	40.54
光照3分鐘的透光率%		53.38	58.78	63.51	46.62	37.16	36.49

表24. 不同層數0.1M硝酸銀+0-12滴的墨水樹染液光照不同時間白光光罩下串接一般電阻分電壓的比較

不同層數0.5 mL 0.1M AgNO₃+0-12滴的墨水樹染液白光下電壓及透光率%比較

加墨水樹染液數	0	2	4	6	8	10	12
光照時間(分)	電壓(V)						
0	A	1.48	1.48	1.48	1.22	1.19	0.99
1	B ₁	1.12	0.85	1.19	1.05	0.86	0.76
2	B ₂	0.86	0.86	1.03	1.49	1.49	0.6
3	B ₃	0.79	1.37	0.94	0.69	0.55	0.54
光照1分鐘的透光率%		75.68	70.95	80.41	70.95	58.11	51.35
光照2分鐘的透光率%		58.11	58.11	69.59	53.38	53.38	40.54
光照3分鐘的透光率%		53.38	58.78	63.51	46.62	37.16	36.49

表25-2 光照1分鐘時間製於暗櫃不同時間下，回測製於白光燈條的光罩下，光敏吸光後偵測串接一般電阻電壓值透光率比較(比較光照的透光恢復率)

0.5 mL 0.1M AgNO₃+0-12滴的墨水樹染液白光下電壓及透光率%比較

加墨水樹染液數	0	2	4	6	8	10	12
暗櫃時間(分)	電壓(V)						
0	A	1.863	1.79	1.58	1.49	1.278	1.127
0	A	1.681	1.663	1.376	1.109	0.986	0.794
1	B ₂₋₁	1.711	1.695	1.427	1.127	1.001	0.82
2	B ₂₋₂	1.719	1.703	1.477	1.143	1.019	0.852
3	B ₂₋₃	1.812	1.72	1.503	1.178	1.066	0.878
光照1分鐘後透光率%		90.23	89.26	73.86	59.53	52.93	42.62
暗櫃1分鐘後透光恢復		91.84	90.98	76.60	60.49	53.73	44.02
暗櫃2分鐘後透光恢復		92.27	91.41	79.28	61.35	54.70	45.73
暗櫃3分鐘後透光恢復		97.26	92.32	80.68	63.23	57.22	47.13

表25-4 光照3分鐘時間製於暗櫃不同時間下，回測製於白光燈條的光罩下，光敏吸光後偵測串接一般電阻電壓值透光率比較(比較光照的透光恢復率)

0.5 mL 0.1M AgNO₃+0-12滴的墨水樹染液白光下電壓及透光率%比較

加墨水樹染液數	0	2	4	6	8	10	12
暗櫃時間(分)	電壓(V)						
0	A ₀	1.863	1.79	1.58	1.49	1.278	1.127
0	A	1.469	1.485	1.238	0.875	0.832	0.651
1	B ₃₋₁	1.595	1.407	1.278	0.907	0.847	0.656
2	B ₃₋₂	1.608	1.467	1.292	0.986	0.85	0.689
3	B ₃₋₃	1.648	1.479	1.368	1.012	0.865	0.701
光照3分鐘後透光率%		78.85	79.71	66.45	46.97	44.66	34.94
暗櫃1分鐘後透光恢復		85.61	75.52	68.60	48.68	45.46	35.21
暗櫃2分鐘後透光恢復		86.21	78.74	69.35	52.93	45.63	36.98
暗櫃3分鐘後透光恢復		88.35	79.39	73.43	54.32	46.43	37.63

表26-1 0.5 mL 0.1M AgNO₃+0-12滴的0.1M CuCl₂溶液，置於白光燈條的光罩下，光敏電阻吸光後偵測串接一般電阻電壓值透光率比較

加0.1M CuCl₂滴數

光照時間(分)	電壓(V)	0	2	4	6	8	10	12
0	A	1.73	0.872	0.527	1.258	1.065	1.284	0.827
圖示								
1	B ₁	1.398	0.538	0.325	1.122	0.844	1.105	0.626
2	B ₂	1.368	0.589	0.294	1.097	0.87	1.125	0.611
3	B ₃	1.34	0.485	0.243	0.995	0.842	0.989	0.601
光照1分鐘的透光率%		80.81	31.10	18.79	64.86	48.79	63.87	36.18
光照2分鐘的透光率%		79.08	34.05	16.99	63.41	50.29	65.03	35.32
光照3分鐘的透光率%		77.46	28.03	14.05	57.51	48.67	57.17	34.74

表26-2 光照1分鐘時間量於暗箱不同時間下，回測量於白光燈條的光罩下，光敏吸光後偵測串接一般電阻電壓值透光率比較(比較光照的透光恢復率)

0.5 mL 0.1M AgNO ₃ +0-12滴的墨水樹染液白光下電壓及透光率%比較								
加墨水樹滴數		電壓(V)						
暗箱時間(分)	電壓(V)	0	2	4	6	8	10	12
0	A ₀	1.73	0.872	0.527	1.258	1.065	1.284	0.827
0	A	1.398	0.538	0.325	1.122	0.844	1.105	0.626
1	B ₁₋₁	1.426	0.566	0.342	1.134	0.852	1.122	0.637
2	B ₁₋₂	1.501	0.581	0.398	1.145	0.881	1.207	0.642
3	B ₁₋₃	1.578	0.628	0.488	1.161	0.989	1.236	0.724
光照1分鐘後透光率%		80.81	31.10	18.79	64.86	48.79	63.87	45.76
暗箱1分鐘後透光恢復		82.43	32.72	19.77	65.55	49.25	64.86	36.82
暗箱2分鐘後透光恢復		86.76	33.58	23.01	66.76	50.92	69.77	37.11
暗箱3分鐘後透光恢復		91.21	36.30	28.21	67.11	57.17	71.45	41.85

圖26-4 光照1分鐘時間量於暗箱不同時間下，回測量於白光燈條的光罩下，光敏吸光後偵測串接一般電阻電壓值透光率比較(比較光照的透光恢復率)

0.5 mL 0.1M AgNO ₃ +0-12滴的墨水樹染液白光下電壓及透光率%比較								
加墨水樹滴數		電壓(V)						
暗箱時間(分)	電壓(V)	0	2	4	6	8	10	12
0	A ₀	1.73	0.872	0.527	1.258	1.065	1.284	0.827
0	A	1.34	0.485	0.243	0.995	0.842	0.989	0.601
1	B ₂₋₁	1.373	0.504	0.272	1.118	0.866	1.069	0.606
2	B ₂₋₂	1.42	0.508	0.277	1.132	0.901	1.143	0.611
3	B ₂₋₃	1.469	0.611	0.362	1.159	0.952	1.205	0.636
光照3分鐘後透光率%		77.46	28.03	14.05	57.51	48.67	57.17	34.74
暗箱1分鐘後透光恢復		79.36	29.13	15.72	64.62	50.06	61.79	35.03
暗箱2分鐘後透光恢復		82.08	29.36	16.01	65.43	52.08	66.07	35.32
暗箱3分鐘後透光恢復		84.91	35.32	20.92	66.99	55.03	69.65	36.76

表27-1 0.5 mL 0.1M AgNO₃+0-12滴的墨水樹染液白光下電壓及透光率%比較

0.5 mL 0.1M AgNO ₃ +0-12滴的墨水樹染液白光下電壓及透光率%比較								
加墨水樹滴數		電壓(V)						
暗箱時間(分)	電壓(V)	0	2	4	6	8	10	12
0	A	1.842	1.576	1.188	1.398	1.882	1.445	1.629
圖示								
1	B ₁	1.746	1.442	1.038	1.29	1.816	1.263	1.419
2	B ₂	1.706	1.161	0.769	0.958	1.75	1.191	1.329
3	B ₃	1.442	1.039	0.616	0.561	1.411	1.15	1.278
光照1分鐘的透光率%		94.79	78.28	56.35	70.03	98.59	68.57	77.04
光照2分鐘的透光率%		92.62	63.03	41.75	52.01	95.01	64.66	81.58
光照3分鐘的透光率%		78.28	56.41	33.44	30.46	76.60	62.43	69.38

表27-3 光照2分鐘時間量於暗箱不同時間下，回測量於白光燈條的光罩下，光敏吸光後偵測串接一般電阻電壓值透光率比較(比較光照的透光恢復率)

0.5 mL 0.1M AgNO ₃ +0-12滴的墨水樹染液白光下電壓及透光率%比較								
加墨水樹滴數		電壓(V)						
暗箱時間(分)	電壓(V)	0	2	4	6	8	10	12
0	A ₀	1.842	1.576	1.188	1.398	1.882	1.445	1.629
0	A	1.706	1.161	0.769	0.958	1.75	1.191	1.329
1	B ₂₋₁	1.719	1.251	0.785	0.967	1.762	1.292	1.413
2	B ₂₋₂	1.742	1.281	0.82	0.974	1.781	1.3	1.42
3	B ₂₋₃	1.758	1.291	0.832	1.035	1.792	1.323	1.482
光照2分鐘後透光率%		92.62	63.03	41.75	52.01	95.01	64.66	72.15
暗箱1分鐘後透光恢復		93.32	67.92	42.62	52.50	95.66	70.14	76.71
暗箱2分鐘後透光恢復		94.57	69.54	44.52	52.88	96.69	70.38	77.09
暗箱3分鐘後透光恢復		95.44	70.09	45.17	56.10	97.29	71.82	80.46

表27-5 不同厚度(100-300L)0.5 mL 0.1M AgNO₃+0-12滴的墨水樹染液白光下電壓及透光率%比較

0.5 mL 0.1M AgNO ₃ +0-12滴的墨水樹染液白光下電壓及透光率%比較											
加墨水樹滴數		電壓(V)									
暗箱時間(分)	電壓(V)	100L	200L	300L	100L	200L	300L	100L	200L	300L	
0	A	1.842	1.734	1.648	1.388	0.96	0.623	1.882	1.484	1.261	1.629
1	B ₁	1.746	1.783	1.492	1.838	0.948	0.802	1.816	1.443	1.215	1.419
2	B ₂	1.706	1.684	1.416	0.789	0.917	0.597	1.75	1.413	1.071	1.278
3	B ₃	1.442	1.681	1.375	0.616	0.835	0.58	1.411	1.386	1.023	1.329
光照1分鐘的透光率%		94.79	88.21	90.53	56.35	54.67	36.33	83.22	73.73	77.04	68.22
光照2分鐘的透光率%		92.62	97.12	85.92	41.75	52.88	36.23	95.01	81.49	69.38	64.24
光照3分鐘的透光率%		78.28	92.33	85.43	33.44	48.15	35.19	76.60	79.93	62.88	62.51

表28-2 光照1分鐘量於暗箱不同時間下，回測量於白光燈條的光罩下，光敏吸光後偵測串接一般電阻電壓值透光率比較(比較光照的透光恢復率)

0.5 mL 0.1M AgNO ₃ +0-12滴的墨水樹染液白光下電壓及透光率%比較								
加紫膠菌滴數		電壓(V)						
暗箱時間(分)	電壓(V)	0	2	4	6	8	10	12
0	A ₀	1.786	1.243	1.127	0.947	1.696	1.478	1.043
0	A	1.693	1.092	1.115	0.725	1.531	1.223	0.925
1	B ₁₋₁	1.729	1.167	0.884	0.745	1.59	1.279	1.004
2	B ₁₋₂	1.739	1.192	0.912	0.759	1.604	1.291	1.015
3	B ₁₋₃	1.764	1.223	0.93	0.776	1.664	1.355	1.023
光照1分鐘後透光率%		94.79	61.14	62.43	40.59	85.72	68.48	51.79
暗箱1分鐘後透光恢復		96.81	65.34	49.50	41.71	89.03	71.61	56.22
暗箱2分鐘後透光恢復		97.37	66.74	51.06	42.50	89.81	72.28	56.83
暗箱3分鐘後透光恢復		98.77	68.48	52.07	43.45	93.17	75.87	57.28

表26-3 光照2分鐘時間量於暗箱不同時間下，回測量於白光燈條的光罩下，光敏吸光後偵測串接一般電阻電壓值透光率比較(比較光照的透光恢復率)

0.5 mL 0.1M AgNO ₃ +0-12滴的墨水樹染液白光下電壓及透光率%比較								
加墨水樹滴數		電壓(V)						
暗箱時間(分)	電壓(V)	0	2	4	6	8	10	12
0	A ₀	1.73	0.872	0.527	1.258	1.065	1.284	0.827
0	A	1.368	0.589	0.294	1.097	0.87	1.125	0.611
1	B ₂₋₁	1.401	0.596	0.325	1.15	0.916	1.243	0.637
2	B ₂₋₂	1.44	0.6	0.354	1.17	0.93	1.271	0.683
3	B ₂₋₃	1.468	0.642	0.4	1.183	0.956	1.281	0.698
光照2分鐘後透光率%		79.08	34.05	16.99	63.41	50.29	65.03	35.32
暗箱1分鐘後透光恢復		80.98	34.45	18.79	66.47	52.95	71.85	46.56
暗箱2分鐘後透光恢復		83.24	34.68	20.46	67.63	53.76	73.47	39.48
暗箱3分鐘後透光恢復		84.86	37.11	23.12	68.38	55.26	74.05	40.35

圖26-5 不同厚度(100-300L)0.5 mL 0.1M AgNO₃+0-12滴的墨水樹染液白光下電壓及透光率%比較

0.5 mL 0.1M AgNO ₃ +0-12滴的墨水樹染液白光下電壓及透光率%比較											
加墨水樹滴數		電壓(V)									
暗箱時間(分)	電壓(V)	100L	200L	300L	100L	200L	300L	100L	200L	300L	
0	A	1.73	1.68	1.682	0.488	0.741	0.727	0.989	1.179	1.026	1.042
1	B ₄	1.398	1.434	1.632	0.325	0.712	0.68	0.844	1.162	1.006	1.018
2	B ₇	1.368	1.385	1.613	0.294	0.692	0.666	0.87	1.154	0.993	1.014
3	B ₈	1.34	1.368	1.585	0.243	0.645	0.587	0.842	1.084	0.946	1.004
光照1分鐘的透光率%		80.81	85.36	97.05	18.79	42.38	40.43	48.79	69.17	59.88	36.18
光照2分鐘的透光率%		79.08	82.44	95.90	16.99	41.39	39.60	50.29	68.69	59.04	35.32
光照3分鐘的透光率%		77.46	81.43	94.23	14.05	38.39	34.90	48.67	64.52	56.24	34.74

表27-2 光照1分鐘時間量於暗箱不同時間下，回測量於白光燈條的光罩下，光敏吸光後偵測串接一般電阻電壓值透光率比較(比較光照的透光恢復率)

0.5 mL 0.1M AgNO ₃ +0-12滴的墨水樹染液白光下電壓及透光率%比較								
加墨水樹滴數		電壓(V)						
暗箱時間(分)	電壓(V)	0	2	4	6	8	10	12
0	A ₀	1.842	1.576	1.188	1.398	1.882	1.445	1.629
0	A	1.746	1.442	1.038	1.29	1.816	1.263	1.419
1	B ₁₋₁	1.754	1.452	1.045	1.341	1.833	1.307	1.472
2	B ₁₋₂	1.763	1.473	1.053	1.348	1.838	1.35	1.548
3	B ₁₋₃	1.803	1.501	1.12	1.35	1.845	1.382	1.556
光照1分鐘後透光率%		94.79	78.28	56.35	70.03	98.59	68.57	77.04
暗箱1分鐘後透光恢復		95.22	78.83	56.73	72.80	99.51	70.96	79.91
暗箱2分鐘後透光恢復		95.71	79.97	57.17	73.18	99.78	73.29	84.04
暗箱3分鐘後透光恢復		97.88	81.49	60.80	73.29	100	75.03	84.47

表27-4 AgNO₃+墨水樹+O₂於光照3分鐘時間量於暗箱不同時間下，回測量於白光的光罩下，光敏吸光後偵測串接一般電阻電壓值透光率比較(比較光照的透光恢復率)

0.5 mL 0.1M AgNO ₃ +0-12滴的墨水樹染液白光下電壓及透光率%比較								
加墨水樹滴數		電壓(V)						
暗箱時間(分)	電壓(V)	0	2	4	6	8	10	12
0	A ₀	1.842	1.576	1.188	1.398	1.882	1.445	1.629
0	A	1.442	1.039	0.616	0.561	1.411	1.15	1.278
1	B ₂₋₁	1.48	1.07	0.629	0.742	1.501	1.16	1.345
2	B ₂₋₂	1.506	1.074	0.649	0.752	1.509	1.172	1.362
3	B ₂₋₃	1.543	1.08	0.653	0.769	1.538	1.229	1.409
光照3分鐘後透光率%		78.28	56.41	33.44	30.46	76.60	62.43	69.38
暗箱1分鐘後透光恢復		80.35	58.09	34.15	40.28	81.49	62.98	73.02
暗箱2分鐘後透光恢復		81.76	58.31	35.23	40.83	81.92	63.63	73.94
暗箱3分鐘後透光恢復		83.77	58.63	35.45	41.75	83.50	66.72	76.49

表28-1 0.5 mL 0.1M AgNO₃+0-12滴紫膠菌染液，置於白光燈條的光罩下，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/A₀*100%】

0.5 mL 0.1M AgNO ₃ +0-12滴紫膠菌染液白光下電壓及透光率%比較								
加紫膠菌滴數		電壓(V)						
暗箱時間(分)	電壓(V)	0						

表28-4 光照3分鐘置於暗箱不同時間下，回測置於白光燈條的光罩下，光敏吸光後偵測串接一般電阻電壓值透光率比較(比較光照的透光恢復率)

0.5 mL 0.1M AgNO ₃ +0-12滴的墨水樹染液白光下電壓及透光率%比較								
加紫膠菌滴數		電壓(V)						
暗箱時間(分)	電壓(V)	0	2	4	6	8	10	12
0	A ₀	1.786	1.243	1.127	0.947	1.696	1.478	1.043
1	B _{1,1}	1.63	0.834	1.04	0.696	1.302	1.102	0.912
2	B _{1,2}	1.673	0.852	0.862	0.739	1.426	1.113	0.965
3	B _{1,3}	1.709	0.875	0.887	0.752	1.523	1.159	0.979
3	B _{1,3}	1.714	0.883	0.904	0.764	1.581	1.209	0.985
光照3分鐘後透光率%		91.27	46.70	58.23	38.97	72.90	61.70	51.06
暗箱1分鐘後透光恢復率%		93.67	47.70	48.26	41.38	79.84	62.32	54.03
暗箱2分鐘後透光恢復率%		95.69	48.99	49.66	42.11	85.27	64.89	54.82
暗箱3分鐘後透光恢復率%		95.97	49.44	50.62	42.78	88.52	67.69	55.15

表29-1 0.5 mL 0.1M AgNO₃+5滴紫膠菌染液+0-12滴0.1M CuCl₂溶液，置於白光燈條的光罩下，光敏吸光後偵測串接一般電阻電壓值透光率比較

0.5 mL 0.1M AgNO ₃ +0-12滴的墨水樹染液白光下電壓及透光率%比較								
加紫膠菌滴數		電壓(V)						
光照時間(分)	電壓(V)	0	2	4	6	8	10	12
0	A	1.714	1.594	1.586	1.952	1.442	1.38	1.371
圖示								
1	B ₁	1.423	1.424	1.194	1.551	1.134	1.019	1.213
2	B ₂	1.328	1.354	1.05	1.523	1.108	0.702	1.158
3	B ₃	1.274	1.286	0.83	1.293	0.977	0.647	1.138
光照1分鐘的透光率%		83.02	83.08	69.66	90.49	66.16	59.45	70.77
光照2分鐘的透光率%		77.48	79.00	61.26	88.86	64.64	40.96	67.56
光照3分鐘的透光率%		74.33	75.03	48.42	75.44	57.00	37.75	66.39

表29-3 光照2分鐘時間置於暗箱不同時間下，回測置於白光燈條的光罩下，光敏吸光後偵測串接一般電阻電壓值透光率比較(比較光照的透光恢復率)

0.5 mL 0.1M AgNO ₃ +0-12滴的墨水樹染液白光下電壓及透光率%比較								
加紫膠菌滴數		電壓(V)						
暗箱時間(分)	電壓(V)	0	2	4	6	8	10	12
0	A ₀	1.714	1.594	1.586	1.952	1.442	1.38	1.371
1	B _{2,1}	1.328	1.354	1.05	1.523	1.108	0.702	1.158
2	B _{2,2}	1.369	1.424	1.08	1.551	1.126	0.801	1.183
3	B _{2,3}	1.411	1.475	1.094	1.575	1.167	0.821	1.213
3	B _{2,3}	1.499	1.535	1.243	1.623	1.25	0.843	1.251
光照2分鐘後透光率%		77.48	79.00	61.26	88.86	64.64	40.96	67.56
暗箱1分鐘後透光恢復率%		79.87	83.08	63.01	90.49	65.69	46.73	69.02
暗箱2分鐘後透光恢復率%		82.32	86.06	63.83	91.89	68.09	47.90	70.77
暗箱3分鐘後透光恢復率%		87.46	89.56	72.52	94.69	72.93	49.18	72.99

表29-5 不同厚度(100-300μL)0.5 mL 0.1M AgNO₃+5滴紫膠菌染液+0-12滴0.1M CuCl₂溶液白光下電壓及透光率%比較

0.5 mL 0.1M AgNO ₃ +0-12滴的墨水樹染液白光下電壓及透光率%比較													
加紫膠菌滴數		電壓(V)											
光照時間(分)	電壓(V)	100μL	200μL	300μL	100μL	200μL	300μL	100μL	200μL	300μL	100μL	200μL	300μL
0	A	1.714	1.551	1.213	1.586	1.446	1.136	1.442	1.211	1.071	1.371	1.176	1.211
1	B ₁	1.423	1.54	1.095	1.194	1.435	1.104	1.134	1.185	1.065	1.213	1.135	1.185
2	B ₂	1.328	1.527	1.079	1.05	1.431	1.052	1.108	1.089	1.052	1.158	1.066	1.089
3	B ₃	1.274	1.499	1.043	0.83	1.425	1.014	0.977	1.03	1.028	1.138	1.091	1.03
光照1分鐘的透光率%		83.02	99.29	90.27	69.66	92.52	91.01	66.16	76.40	87.80	70.77	73.18	97.69
光照2分鐘的透光率%		77.48	98.45	88.95	61.26	92.26	86.73	64.64	70.21	86.73	67.56	68.73	89.78
光照3分鐘的透光率%		74.33	96.65	85.99	48.42	91.88	83.59	57.00	66.41	84.75	66.39	66.47	84.91

表30-2 光照1分鐘置於暗箱不同時間下，回測置於白光燈條的光罩下，光敏吸光後偵測串接一般電阻電壓值透光率比較(比較光照的透光恢復率)

0.5 mL 0.1M AgNO ₃ +0-12滴的菌草染液白光下電壓及透光率%比較								
加菌草滴數		電壓(V)						
暗箱時間(分)	電壓(V)	0	2	4	6	8	10	12
0	A ₀	1.778	1.792	1.745	1.79	1.576	1.533	1.463
1	B _{1,1}	1.663	1.687	1.541	1.54	1.384	1.353	1.294
2	B _{1,2}	1.693	1.692	1.548	1.54	1.393	1.387	1.305
3	B _{1,3}	1.722	1.703	1.618	1.56	1.422	1.417	1.312
光照1分鐘後透光率%		92.24	94.60	85.60	85.04	75.87	73.96	71.93
暗箱1分鐘後透光恢復率%		93.53	94.88	86.67	86.39	77.84	76.10	72.78
暗箱2分鐘後透光恢復率%		95.22	95.16	87.06	86.78	78.35	78.01	73.40
暗箱3分鐘後透光恢復率%		96.85	95.78	91.00	87.91	79.98	79.70	73.79

表28-5 不同厚度(100-300μL)0.5 mL 0.1M AgNO₃+0-12滴的墨水樹染液白光下電壓及透光率%比較

0.5 mL 0.1M AgNO ₃ +0-12滴的墨水樹染液白光下電壓及透光率%比較													
加紫膠菌滴數		電壓(V)											
光照時間(分)	電壓(V)	100μL	200μL	300μL	100μL	200μL	300μL	100μL	200μL	300μL	100μL	200μL	300μL
0	A	1.786	1.761	1.706	1.127	1.058	0.956	1.696	1.274	1.133	1.043	1.002	0.959
1	B ₁	1.693	1.726	1.655	1.115	1.041	0.887	1.531	1.223	1.113	0.925	0.979	0.94
2	B ₂	1.68	1.646	1.644	1.111	1.024	0.894	1.512	1.159	1.072	0.915	0.945	0.924
3	B ₃	1.63	1.632	1.633	1.04	0.992	0.838	1.302	0.906	1.038	0.912	0.815	0.809
光照1分鐘的透光率%		94.79	98.01	97.01	62.43	59.11	51.99	85.72	69.45	65.24	51.79	55.59	55.10
光照2分鐘的透光率%		94.06	93.47	96.37	62.21	58.15	52.40	84.66	65.81	62.84	51.23	53.66	54.16
光照3分鐘的透光率%		91.27	92.67	95.72	58.23	56.33	49.12	72.90	51.45	60.84	51.06	46.28	53.28

表29-2 光照1分鐘時間置於暗箱不同時間下，回測置於白光燈條的光罩下，光敏吸光後偵測串接一般電阻電壓值透光率比較(比較光照的透光恢復率)

0.5 mL 0.1M AgNO ₃ +0-12滴的墨水樹染液白光下電壓及透光率%比較								
加紫膠菌滴數		電壓(V)						
暗箱時間(分)	電壓(V)	0	2	4	6	8	10	12
0	A ₀	1.714	1.594	1.586	1.952	1.442	1.38	1.371
1	B _{1,1}	1.515	1.467	1.229	1.678	1.152	1.031	1.273
2	B _{1,2}	1.536	1.497	1.263	1.714	1.164	1.081	1.319
3	B _{1,3}	1.582	1.562	1.276	1.732	1.361	1.191	1.324
光照1分鐘後透光率%		83.02	83.08	69.66	90.49	66.16	59.45	70.77
暗箱1分鐘後透光恢復率%		88.39	85.59	71.70	97.90	67.21	60.15	74.27
暗箱2分鐘後透光恢復率%		89.61	87.34	73.69	100.00	67.91	63.07	76.95
暗箱3分鐘後透光恢復率%		92.30	91.13	74.45	100.00	79.40	69.49	77.25

表29-4 光照3分鐘時間置於暗箱不同時間下，回測置於白光燈條的光罩下，光敏吸光後偵測串接一般電阻電壓值透光率比較(比較光照的透光恢復率)

0.5 mL 0.1M AgNO ₃ +0-12滴的墨水樹染液白光下電壓及透光率%比較								
加紫膠菌滴數		電壓(V)						
暗箱時間(分)	電壓(V)	0	2	4	6	8	10	12
0	A ₀	1.714	1.594	1.586	1.952	1.442	1.38	1.371
1	B _{1,1}	1.294	1.292	0.862	1.321	1.087	0.727	1.18
2	B _{1,2}	1.35	1.323	0.876	1.386	1.231	0.734	1.194
3	B _{1,3}	1.36	1.338	0.922	1.396	1.294	0.782	1.255
光照3分鐘後透光率%		74.33	75.03	48.42	75.44	57.00	37.75	66.39
暗箱1分鐘後透光恢復率%		75.50	75.38	50.29	77.07	63.42	42.42	68.84
暗箱2分鐘後透光恢復率%		78.76	77.19	51.11	80.86	71.82	42.82	69.66
暗箱3分鐘後透光恢復率%		79.35	78.06	53.79	81.45	75.50	45.62	73.22

表30-1 0.5 mL 0.1M AgNO₃+0-12滴的菌草染液，置於白光燈條的光罩下，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/A₀*100%】

0.5 mL 0.1M AgNO ₃ +0-12滴的菌草染液白光下電壓及透光率%比較												
加菌草滴數		電壓(V)										
光照時間(分)	電壓(V)	0	2	4	6	8	10	12				
0	A	1.778	1.792	1.745	1.79	1.576	1.533	1.463				
圖示												
1	B ₁	1.64	1.682	1.522	1.51	1.349	1.315	1.279				
2	B ₂	1.583	1.462	1.348	1.31	1.109	1.066	1.052				
3	B ₃	1.519	1.432	1.342	1.28	0.968	0.911	0.945				
光照1分鐘的透光率%		92.24	94.60	85.60	85.04	75.87	73.96	71.93				
光照2分鐘的透光率%		89.03	82.23	75.82	73.40	62.37	59.96	59.17				
光照3分鐘的透光率%		85.43	80.54	75.48	71.77	54.44	51.24	53.15				

表30-3 光照2分鐘置於暗箱不同時間下，回測置於白光燈條的光罩下，光敏吸光後偵測串接一般電阻電壓值透光率比較(比較光照的透光恢復率)

0.5 mL 0.1M AgNO ₃ +0-12滴的菌草染液白光下電壓及透光率%比較								
加菌草滴數		電壓(V)						
暗箱時間(分)	電壓(V)	0	2	4	6	8	10	12
0	A ₀	1.778	1.792	1.745	1.79	1.576	1.533	1.463
1	B _{2,1}	1.589	1.513	1.367	1.33	1.224	1.079	1.085
2	B _{2,2}	1.614	1.628	1.465	1.44	1.247	1.122	1.135
3	B _{2,3}	1.71	1.637	1.539	1.49	1.374	1.127	1.169
光照2分鐘後透光率%		89.03	82.23	75.82	73.40	62.37	59.96	59.17
暗箱1分鐘後透光恢復率%		89.37	85.10	76.88	74.52	68.84	60.69	61.02
暗箱2分鐘後透光恢復率%		90.78	91.56	82.40	80.71	70.13	63.10	63.84
暗箱3分鐘後透光恢復率%		96.18	92.07	86.56	83.75	77.28	63.39	65.75

表30-4 光照3分鐘置於暗箱不同時間下，回測量於白光燈條的光罩下，光敏吸光後偵測串接一般電阻電壓值透光率比較(比較光照的透光恢復率)

0.5 mL 0.1M AgNO ₃ +0~12滴的莖草藥液由光下電壓及透光率%比較								
加莖草藥液		電壓(V)						
暗箱時間(分)	電壓(V)	0	2	4	6	8	10	12
0	A ₀	1.778	1.792	1.745	1.79	1.576	1.533	1.463
1	B ₁₋₁	1.519	1.432	1.342	1.28	0.968	0.911	0.945
2	B ₂₋₂	1.552	1.491	1.371	1.28	0.999	0.93	0.989
3	B ₃₋₃	1.614	1.51	1.4	1.31	1.066	0.949	1.001
3	B ₃₋₃	1.668	1.542	1.41	1.32	1.119	0.965	1.041
光照3分鐘後透光率%		85.43	80.54	75.48	71.77	54.44	51.24	53.15
暗箱1分鐘後透光恢復		87.29	83.86	77.11	72.16	56.19	52.31	55.62
暗箱2分鐘後透光恢復		90.78	84.93	78.74	73.62	59.96	53.37	56.30
暗箱3分鐘後透光恢復		93.81	86.73	79.30	74.35	62.94	54.27	58.55

表31-1 0.5 mL 0.1M AgNO₃+5滴莖草藥液+0~12滴0.1M CuCl₂溶液，置於白光燈條的光罩下，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*100%)

0.5 mL 0.1M AgNO ₃ +0~12滴的莖草藥液由光下電壓及透光率%比較								
加莖草藥液		電壓(V)						
光照時間(分)	電壓(V)	0	2	4	6	8	10	12
0	A	1.497	1.694	1.603	1.4	1.36	0.974	1.327
圖示								
1	B ₁	1.282	1.031	0.856	0.699	1.126	0.791	1.012
2	B ₂	1.279	0.868	0.842	0.636	1.095	0.756	1.028
3	B ₃	1.063	0.745	0.705	0.56	1.078	0.739	0.99
光照1分鐘後透光率%		85.64	68.87	57.18	46.69	75.22	52.84	67.60
光照2分鐘後透光恢復		85.44	57.98	56.25	42.48	73.15	50.50	68.67
光照3分鐘後透光恢復		71.01	49.77	47.09	37.41	72.01	49.37	66.13

表31-3 光照2分鐘置於暗箱不同時間下，回測量於白光燈條的光罩下，光敏吸光後偵測串接一般電阻電壓值透光率比較(比較光照的透光恢復率)

0.5 mL 0.1M AgNO ₃ +0~12滴的莖草藥液由光下電壓及透光率%比較								
加莖草藥液		電壓(V)						
暗箱時間(分)	電壓(V)	0	2	4	6	8	10	12
0	A	1.497	1.694	1.603	1.4	1.36	0.974	1.327
1	B ₂₋₁	1.332	0.906	0.845	0.639	1.149	0.792	1.056
2	B ₂₋₂	1.37	0.93	0.907	0.651	1.16	0.78	1.062
3	B ₂₋₃	1.393	0.934	0.915	0.67	1.186	0.802	1.079
光照2分鐘後透光率%		85.44	57.98	56.25	42.48	73.15	50.50	68.67
暗箱1分鐘後透光恢復		88.98	60.52	56.45	42.69	76.75	52.91	70.54
暗箱2分鐘後透光恢復		91.52	62.12	60.59	43.49	77.49	52.10	70.94
暗箱3分鐘後透光恢復		93.05	62.39	61.12	44.76	79.23	53.57	72.08

表31-5 不同厚度(100-300μL)0.5 mL 0.1M AgNO₃+0~12滴的莖草藥液由光下電壓及透光率%比較

0.5 mL 0.1M AgNO ₃ +0~12滴的莖草藥液由光下電壓及透光率%比較													
加莖草藥液		電壓(V)											
光照時間(分)	電壓(V)	100μL	200μL	300μL	100μL	200μL	300μL	100μL	200μL	300μL	100μL	200μL	300μL
0	A	1.497	1.538	1.39	1.603	1.338	1.049	1.36	1.053	0.976	1.327	1.374	0.912
1	B ₁	1.282	1.5	1.346	0.856	1.327	1.036	1.126	1.015	0.956	1.012	1.364	0.862
2	B ₂	1.279	1.479	1.336	0.842	1.281	1.002	1.095	1.008	0.906	1.028	1.359	0.826
3	B ₃	1.063	1.466	1.327	0.705	1.224	0.991	1.078	0.998	0.824	0.99	1.327	0.807
光照1分鐘的透光率%		85.64	97.53	96.83	57.18	95.47	74.53	75.22	65.99	68.78	67.60	88.69	62.01
光照2分鐘的透光率%		85.44	96.16	96.12	56.25	92.16	72.09	73.15	65.54	65.18	68.67	88.36	59.42
光照3分鐘的透光率%		71.01	95.32	95.47	47.09	88.06	71.29	72.01	64.89	59.28	66.13	86.28	58.05

表31-6 0.5 mL 0.1M AgNO₃+0~12滴的莖草藥液，置於白光燈條的光罩不同時間下，以GY33感測器偵測各顏色的RGB及HSV比較

0.5 mL 0.1M AgNO ₃ +0~12滴的莖草藥液由光下電壓及透光率%比較														
加莖草藥液		電壓(V)												
光照時間(分)	電壓(V)	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B	
0	A	213	212	209	190	191	189	189	189	178	172	167	157	153
1	B ₁	20	7	39	273	240	230	216						
2	B ₂	4.1	4	8.7	5.1	0.6	2	3.4						
3	B ₃	85.5	77.6	76.5	69	62	58.4	57.6						
光照一分鐘		208	197	192	194	194	171	184	180	169	164	156	153	143
暗箱一分鐘		35	34	246	16	345	340	60						
暗箱二分鐘		185	178	183	185	183	191	176	165	157	148	137	134	127
暗箱三分鐘		165	166	159	143	141	129	142	137	122	115	108	104	97

表30-5 不同厚度(100-300μL)0.5 mL 0.1M AgNO₃+0~12滴的莖草藥液由光下電壓及透光率%比較

0.5 mL 0.1M AgNO ₃ +0~12滴的莖草藥液由光下電壓及透光率%比較													
加莖草藥液		電壓(V)											
光照時間(分)	電壓(V)	100μL	200μL	300μL	100μL	200μL	300μL	100μL	200μL	300μL	100μL	200μL	300μL
0	A	1.778	1.75	1.742	1.745	1.697	1.642	1.576	1.432	1.576	1.463	1.331	1.394
1	B ₁	1.64	1.342	1.335	1.522	1.672	1.602	1.349	1.408	1.544	1.279	1.301	1.37
2	B ₂	1.583	1.318	1.321	1.348	1.666	1.564	1.109	1.375	1.527	1.052	1.28	1.305
3	B ₃	1.519	1.282	1.295	1.342	1.539	1.532	0.968	1.36	1.508	0.945	1.262	1.282
光照1分鐘的透光率%		92.24	76.69	76.64	85.60	85.54	91.96	75.87	80.46	88.63	71.93	74.34	78.65
光照2分鐘的透光率%		89.03	75.31	75.83	75.82	95.20	89.78	62.37	78.57	87.66	59.17	73.14	74.91
光照3分鐘的透光率%		85.43	73.26	74.34	75.48	87.94	87.94	54.44	77.71	86.57	0.00	72.11	73.59

表31-2 光照1分鐘置於暗箱不同時間下，回測量於白光燈條的光罩下，光敏吸光後偵測串接一般電阻電壓值透光率比較(比較光照的透光恢復率)

0.5 mL 0.1M AgNO ₃ +0~12滴的莖草藥液由光下電壓及透光率%比較								
加莖草藥液		電壓(V)						
暗箱時間(分)	電壓(V)	0	2	4	6	8	10	12
0	A	1.497	1.694	1.603	1.4	1.36	0.974	1.327
1	B ₁₋₁	1.349	1.051	0.88	0.72	1.16	0.799	1.045
2	B ₁₋₂	1.37	1.378	0.903	0.748	1.179	0.819	1.061
3	B ₁₋₃	1.404	1.136	1.171	0.989	1.224	0.81	1.135
光照1分鐘後透光率%		85.64	68.87	57.18	46.69	75.22	52.84	67.60
暗箱1分鐘後透光恢復		90.11	70.21	58.78	48.10	77.49	53.37	69.81
暗箱2分鐘後透光恢復		91.52	92.05	60.32	49.97	78.76	54.71	70.88
暗箱3分鐘後透光恢復		93.79	95.93	78.42	66.07	81.76	56.11	75.82

表31-4 光照3分鐘置於暗箱不同時間下，回測量於白光燈條的光罩下，光敏吸光後偵測串接一般電阻電壓值透光率比較(比較光照的透光恢復率)

0.5 mL 0.1M AgNO ₃ +0~12滴的莖草藥液由光下電壓及透光率%比較								
加莖草藥液		電壓(V)						
暗箱時間(分)	電壓(V)	0	2	4	6	8	10	12
0	A	1.497	1.694	1.603	1.4	1.36	0.974	1.327
1	B ₃₋₁	1.093	0.769	0.73	0.577	1.095	0.762	1.03
2	B ₃₋₂	1.122	0.787	0.773	0.587	1.149	0.768	1.035
3	B ₃₋₃	1.273	0.806	0.792	0.642	1.17	0.774	1.082
光照3分鐘後透光率%		71.01	49.77	47.09	37.41	72.01	49.37	66.13
暗箱1分鐘後透光恢復		73.01	51.37	48.76	38.54	73.15	50.90	68.80
暗箱2分鐘後透光恢復		74.95	52.57	51.64	39.21	76.75	51.30	69.14
暗箱3分鐘後透光恢復		85.04	53.84	52.91	42.89	78.16	51.70	70.27

表31-6 0.5 mL 0.1M AgNO₃+0~12滴的莖草藥液+0.1M CuCl₂溶液，置於白光燈條的光罩不同時間下，以GY33感測器偵測各顏色的RGB及HSV比較

0.5 mL 0.1M AgNO ₃ +0~12滴的莖草藥液+0.1M CuCl ₂ 溶液由光下電壓及透光率%比較														
加CuCl ₂ 濃度		電壓(V)												
光照時間(分)	電壓(V)	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B	
0	A	166	170	164	165	172	172	167	164	162	167	162	164	164
1	B ₁	100	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104	104
2	B ₂	66.7	66.7	66.7	66.7	66.7	66.7	66.7	66.7	66.7	66.7	66.7	66.7	
3	B ₃	66.7	66.7	66.7	66.7	66.7	66.7	66.7	66.7	66.7	66.7	66.7	66.7	
光照一分鐘		155	159	153	158	157	157	157	158	157	157	158	158	
暗箱一分鐘		40	108	80	152	80	20	80						
暗箱二分鐘		124	123	114	117	115	115	115	115	115	115	115	115	
暗箱三分鐘		118	118	112	114	114	114	114	114	114	114	114	114	

表31-6 0.5 mL 0.1M AgNO₃+0~12滴的莖草藥液+0.1M CuCl₂溶液，置於白光燈條的光罩不同時間下，以GY33感測器偵測各顏色的RGB及HSV比較

0.5 mL 0.1M AgNO ₃ +0~12滴的莖草藥液+0.1M CuCl ₂ 溶液由光下電壓及透光率%比較													
加CuCl ₂ 濃度		電壓(V)											
光照時間(分)	電壓(V)	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B
0	A	208	197	192	194	194	171	184	180	169	164	156	153
1	B ₁	20	7	39	273	240	230	216					
2	B ₂	4.1	4	8.7	5.1	0.6	2	3.4					
3	B ₃	85.5	77.6	76.5	69	62	58.4	57.6					
光照一分鐘		194	185	189	189	187	180	185	185	182	178	178	178
暗箱一分鐘		38	47	110	327								

表17-6 0.5 mL 0.1M AgNO₃-0.5%的墨水樹染液-0.12%的0.1M CuCl₂溶液，置於白光燈管的光量不同時間下，以GV33感測器偵測各標準的RGB及HSV比較

0.5 mL 0.1M AgNO ₃ -0.12%的0.1M CuCl ₂ 溶液白光光量下的RGB及HSV比較															
加CuCl ₂ 濃度	0		2		4		6		8		10		12		
光源時間(分)	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B
光源之下	297	215	205	218	211	219	240	194	186	215	173	172	208	218	219
色相值H°	180	140	185	177	165	158	158	163							
飽和度S%	3.7	1.4	13.4	11.8	4.6	5.3	4.3								
明度V%	84.3	86.7	72.9	67.8	85.5	80.8	80.2								
光源時間(分)	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B
照光一分鐘	183	195	127	128	212	208	114	127	111	204	104	95	288	181	182
H°	30	23	90	90	348	30	67								
S%	4.9	14.1	5.1	5.8	2.7	3.2	4.3								
V%	64.7	49.4	45.9	40.8	72.9	74.1	81.2								
光源時間(分)	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B
照光二分鐘	150	152	146	118	109	102	95	99	94	92	94	99	105	163	164
H°	80	28	108	84	330	40	105								
S%	3.9	13.6	5.1	5.3	1.3	3.3	2.1								
V%	59.6	46.3	38.8	36.9	64.7	71	75.7								
光源時間(分)	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B
照光三分鐘	141	147	141	91	81	88	80	87	82	83	81	85	145	149	149
H°	84	84	157	95	0	60	155								
S%	3.4	5.4	8	5.5	0	1.2	2.2								
V%	57.6	36.5	34.1	35.7	58.4	62.7	69.8								

表18-6 0.5 mL 0.1M AgNO₃-0.12%的墨水樹染液，置於白光燈管的光量不同時間下，以GV33感測器偵測各標準的RGB及HSV比較

0.5 mL 0.1M AgNO ₃ -0.12%的墨水樹染液白光光量下的RGB及HSV比較															
加CuCl ₂ 濃度	0		2		4		6		8		10		12		
光源時間(分)	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B
光源之下	227	233	231	181	185	170	173	159	159	158	141	137	208	213	219
色相值H°	28	325	310	298	208	230	278								
飽和度S%	11.3	10.4	13.3	10.2	5.9	6.3	5.9								
明度V%	89	71	67.8	61.6	85.9	74.9	53.3								
光源時間(分)	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B
照光一分鐘	237	203	180	102	92	90	130	109	109	142	122	124	207	204	201
H°	15	11	331	328	285	300	208								
S%	20.7	10.9	16.2	12	1.9	2.4	9.2								
V%	85.1	39.6	51	55.7	81.6	66.3	55.3								
光源時間(分)	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B
照光二分鐘	193	181	172	99	89	87	112	97	105	129	116	123	196	182	184
H°	31	10	323	328	260	280	240								
S%	16.9	12.1	13.4	10.1	1.5	1.9	5								
V%	75.7	38.3	43.9	50.6	77.6	63.1	46.7								
光源時間(分)	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B
照光三分鐘	183	183	177	91	85	81	98	88	94	100	103	108	140	142	143
H°	60	24	324	317	200	240	228								
S%	3.4	11	10.2	6.4	2.1	1.4	4.6								
V%	71.8	35.7	38.4	49.1	56.1	57.3	42.4								

表19-6 0.5 mL 0.1M AgNO₃-0.5%的墨水樹染液-0.12%的0.1M CuCl₂溶液，置於白光燈管的光量不同時間下，以GV33感測器偵測各標準的RGB及HSV比較

0.5 mL 0.1M AgNO ₃ -0.12%的0.1M CuCl ₂ 溶液白光光量下的RGB及HSV比較															
加CuCl ₂ 濃度	0		2		4		6		8		10		12		
光源時間(分)	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B
光源之下	243	228	232	180	159	159	178	152	152	157	159	162	153	161	163
色相值H°	33	242	230	211	214	227	224								
飽和度S%	4.5	13.6	17.4	13.7	13.3	15.3	17.3								
明度V%	95.3	72.2	83.5	71.4	67.8	71.8	77.3								
光源時間(分)	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B
照光一分鐘	172	140	148	108	104	104	134	148	137	135	147	148	148	91	90
H°	30	0	280	324	0	120	337								
S%	14	11.9	5.7	6.5	11.4	3.2	11.2								
V%	67.3	46.3	61.6	60.8	65.5	36.5	60.7								
光源時間(分)	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B
照光二分鐘	145	137	126	100	101	101	145	143	145	131	124	122	139	140	136
H°	33	60	283	351	233	190	233								
S%	13.7	1	4.7	5.3	11.5	6.7	11.1								
V%	57.3	40	58	51.4	61.2	35.3	63.5								
光源時間(分)	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B
照光三分鐘	123	120	120	94	99	99	121	121	127	119	118	124	127	141	141
H°	46	180	250	285	229	144	214								
S%	10.6	5.1	4.7	3.3	12.1	5.9	11.6								
V%	48.2	38.8	49.8	47.1	55.3	33.3	47.5								

表20-6 0.5 mL 0.1M AgNO₃-0.12%的墨水樹染液，置於白光燈管的光量不同時間下，以GV33感測器偵測各標準的RGB及HSV比較

0.5 mL 0.1M AgNO ₃ -0.12%的墨水樹染液白光光量下的RGB及HSV比較															
加CuCl ₂ 濃度	0		2		4		6		8		10		12		
光源時間(分)	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B
光源之下	228	228	224	190	193	190	181	180	182	153	157	151	141	142	134
色相值H°	60	120	43	100	67	120	110								
飽和度S%	1.8	1.6	6.2	3.8	5.6	3.3	4.7								
明度V%	89.4	75.7	63.5	61.6	55.7	56.5	49.8								
光源時間(分)	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B
照光一分鐘	181	169	157	144	131	129	141	130	129	122	111	108	110	108	101
H°	30	30	30	30	38	47	50	52							
S%	13.3	16.7	15.6	12.9	8.2	5.7	8.2								
V%	71	56.5	55.3	48.6	43.1	41.2	38.4								
光源時間(分)	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B
照光二分鐘	172	145	133	114	109	109	103	97	99	124	115	104	114	130	121
H°	33	39	34	33	42	54	60								
S%	11	12.3	13.6	16.1	11.4	9.1	7.4								
V%	67.5	44.7	40.4	48.6	44.7	43.1	37.3								
光源時間(分)	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B	R	G	B
照光三分鐘	124	123	126	117	120	118	111	108	96	98	91	86	105	104	95
H°	53	38	40	45	54	48	90								
S%	5.2	13.9	13.5	12.2	9.5	9.8	7.3								
V%	60.4	53.7	43.5	38.4	41.2	40	32.2								

伍、 討論

一、 銀離子與天然染劑的還原性研究

1. 在銀離子與天然染劑的還原性實驗中發現，銀金屬外觀應為銀白色澤，但在溶液中若析出奈米銀，易與液中含氧或空氣中的氧進行氧化反應而產生黑色的氧化銀分子，所以，以 Dino-Lite 顯微鏡頭照出黑點即可證明墨水樹染液照光，的確能將電子躍遷至銀離子使其還原。
2. Dino-Lite 鏡頭觀察 0.1M AgNO₃ 加墨水樹照光 1 分鐘比 0.1M CuSO₄ 加墨水樹照光 1 分鐘產生的金屬還原性顆粒還要多(兩者控制變因完全相同)，印證了金屬原子活性：Cu > Ag，而離子活性：兩種離子遇墨水樹染料分子照 UV 光產生電子躍遷敏化速率 Ag⁺ > Cu²⁺，銀離子濃度愈高，敏化產生金屬還原性的顆粒更多，而且照光時間變長，結果則更明顯。
3. 由文獻資料可知，不同濃度的奈米銀水溶液顏色不一，濃度愈高，顏色愈深；從顯微放大鏡頭可以看到清楚的顆粒及顏色，的確奈米銀顆粒小，安定性不佳，容易聚集成大顆粒的現象。我們後續要做奈米銀的變色膜，應該要用分散劑，也就是保麗龍膠、膠水和白膠來試試看了！
4. 墨水樹染液照光，能使電子躍遷至銀離子的還原反應可寫為 Ag⁺ + e⁻ → Ag，由理論計算可析出銀原子數為：0.1 M * 1 / 1000 L = 1 * 10⁻⁴ mo L = 1 * 10⁻⁴ * 6 * 10²³ 個 Ag = 6 * 10¹⁹ 個 Ag 原子，等體積不同濃度的 AgNO₃ 與墨水樹汁各 1mL 光照敏化還原的奈米銀原子個數如下：

AgNO ₃ (M)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
若全部還原出奈米銀原子個數為	6 * 10 ¹⁹	1.2 * 10 ²⁰	1.8 * 10 ²⁰	2.4 * 10 ²⁰	3.0 * 10 ²¹

二、自製變色薄膜的分散劑及溶劑比較初測

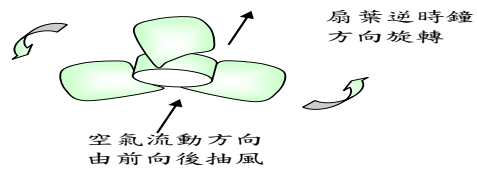
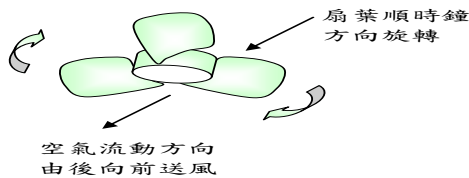
- 1.以全國 53 屆「黑白變 -變色薄膜研究」中的保龍膠 20g 的最佳稀釋比例比較看看，不同的是，我們想使用便宜的膠水和白膠，溶劑使用最方便的水，又加了墨水樹染劑，至於 Ag^+ 和 Cu^{2+} 的 10:1 莫耳數，我們決定用的增加滴數來比較。
- 2.我們發現，保龍膠以酒精當溶劑，所有其它的硝酸銀、墨水樹染劑、氯化銅都是水溶液，雖然，酒精與水的溶解度非常大，但是含酒精的保龍膠聚合的黏性大，不易塗抹出薄層，總是呈現凸起的圓拱形，所以，根本塗不了 24 格就已無膠可塗了。
- 3.我們在快速攪拌硝酸銀與墨水樹染劑時發現，在室內的日光燈照射下，居然就變深咖啡色了，難怪有人說，會變黑的皮膚，就是在室內也會黑，原來日光燈下也會有我們看不見的紫外線，這樣，長大後，我不管有沒有出門，我都要擦不會讓我過敏的防曬保養品了。
- 4.隨著加入的氯化銅滴數變多，咖啡色的凝膠變成了紫色、淺紫色的，也不知道透光率怎麼樣，我想，後續要製作的應該是暗箱及光罩透光機之類的設計才行。
- 5.黏膠與溶劑比例為 4:1，對保龍膠：酒精來說應該可以再提高，但是對膠水黏膠：水而言，就太稀了，光平放拿起投影片，略一點點傾斜，就整個流動到混在一起了，若要用膠水，可能得完全不加水，再者，它所塗抹的塗層太薄，乾得太慢也是缺點。
- 6.白膠與水 4:1 的比例比黏性高的保龍膠酒精溶液佳，也比黏性低的膠水水溶液好，但塗第二格時發現，保龍黏膠讓硝酸銀與墨水樹染劑變咖啡色的速率比在白膠時的快，變紫色的速率也較快，而對藍色的氯化銅而言，因保龍黏膠塗層較厚，外觀看出維持紫→淺紫色可達 11 格，白膠較薄，變紫色只到第五層，之後反而很淺的淡藍色略看得出來。

三、自製抽氣乾燥暗箱的設計

- 1.如果變色薄膜遇光會變色，那在配方膠還沒乾燥前就要放在暗箱內才行，若設計密閉式的，放置及拿取薄膜投影片時應該會不方便才是，網站上的抽氣乾燥箱太貴太大，如右圖，市售桌上型的排氣煙櫃一座寬 80 cm*深 70 cm*高 121 cm，市價不斐，居然要價到 69500 元。
- 2.我們畫了 50*50*50 cm³ 的簡圖，電腦排風扇是學校每年汰換電腦，庫存裡電腦老師拆下來的，學校報廢的變壓器，甚至我家也有很多手機的，這些不用錢，我們只要去水電材料行買 L 型角鋼、平鋼、螺絲、中孔圓片、螺帽，泡棉膠、熱熔膠槍及熔膠條、膠帶、雙面膠、紅黑鱷魚夾線頭及電線學校生科教室都有；暗箱內的多層中空置物積木架等是學校積木材料室的普通零件，最後，只要去學校對面書局買 PP 板、黑色壁報紙、魔鬼粘沾就可以把使用材料備齊了，製作出完成品，應該是幾百元就可以了。
- 3.我們一開始排氣扇裝反，變成向內排氣而不是向外排氣，後來經過我們仔細看它的扇葉結構，發現扇葉轉軸一面看起來向右，另一面當然看起來就向左傾斜分佈，我們讓它們通電做不同的順反轉攪動，終於了解了，分析圖示如下：



【轉軸上扇葉呈向右斜狀分佈】

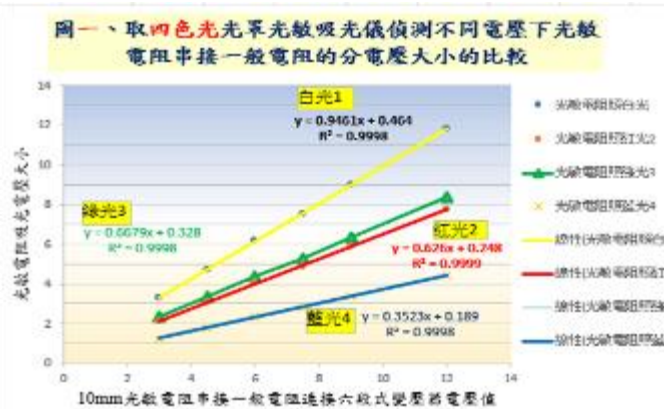


4.所以，DIY 組裝任何的結構前，先測試再黏起來，可以免去重覆操作的時間，總之，我們測試自製的小型抽氣暗箱裝置是很不錯的！

四、自製光照箱的設計

- 1.比較變色薄膜遇光會變色，那不同配方膠已是操縱變因，光源等就只能是條件維持不變的控制變因才行，一開始可先照日光初測，後續則應自製光照箱定點、定距離、定光源強度等，不受陰雨或日照時間不同，太陽高度角不同的影響。
- 2.原本配方膠初測時設定光照 10、20、30 分鐘，但 3W 鋁基板 LED 燈源距離近，且光照強度夠，為了要同一天比較完一種配方膠膜，操作時間縮短至 1、2、3 分鐘看看，結果數據都有變化，就先這樣繼續進行了。

五、自製多色光光罩光敏電阻吸光儀及鑑色儀 RGB 校正及轉換



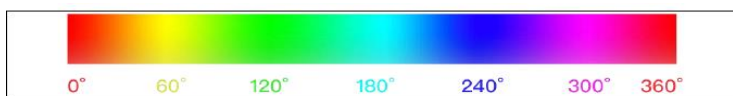
四色光趨勢線比較分析如下：

六段電源電壓	12V 光源	趨勢線	相關係數
3V~12V	白光	$y = 0.9461x + 0.464$	$R^2 = 0.9998$
	紅光	$y = 0.626x + 0.248$	$R^2 = 0.9999$
	綠光	$y = 0.6679x + 0.328$	$R^2 = 0.9998$
	藍光	$y = 0.3523x + 0.189$	$R^2 = 0.9998$

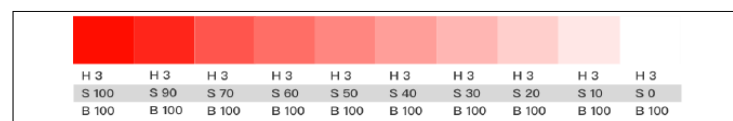
趨勢線的相關係數大都在 0.999 以上，故以此光敏電阻串接的一般電阻分電壓來檢測配方膠膜的透光率應是可行的光罩吸光儀。



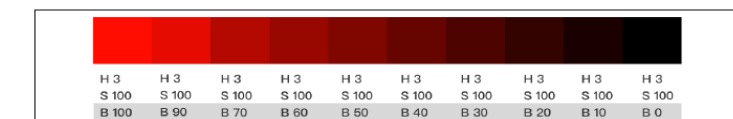
HSB 值簡述如下：(以下圖片皆源自 <https://www.kubonews.com/201803077831.html>)



色相 H°，亦指色彩的種類，0°或 360°為紅色、120°為綠色、240°為藍色。



飽和度 S%指色彩中單色的含量。數值越高越鮮豔，反之越低則越淡白。

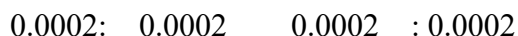
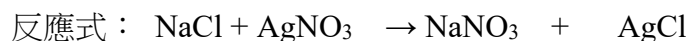


明度 B%：是指色彩明亮程度。數值越高則色彩越亮，反之越低則越暗。

我們的配方膠膜透明度愈高，飽和度 S% 數值應愈低，照光產生奈米銀愈多，明度會愈低。

六、產生 AgCl 固體微粒的外觀及固液分離

1. 實驗七、觀察產生 AgCl 固體微粒的外觀及固液分離，計量如下



$$0.0002 \text{ mol NaCl} = 0.0002 * \text{NaCl 的分子量 } 58.5 = 0.0117\text{g}$$

$$0.0002 \text{ mol AgNO}_3 = 0.02 \text{ M} * \text{體積(L)} \therefore \text{所需體積為 } 0.01 \text{ L} = 10 \text{ mL}$$

$$0.0002 \text{ mol AgCl} = 0.0002 * 6 * 10^{23} \text{ 個} = 1.2 * 10^{20} \text{ 奈米氯化銀粒子析出物}$$

10 mL NaCl(aq) (M)	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10
完全置換需 0.02M AgNO ₃ (aq)(mL)	10	20	30	40	50
可還原出奈米氯化銀個數	1.2*10 ²⁰	2.4*10 ²⁰	3.6*10 ²⁰	4.8*10 ²⁰	6.0*10 ²⁰

各離心管溶液總體積相同的列表如下：

10 mL NaCl(aq) (M)	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10
10 mL AgNO ₃ (aq)(M)	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10
可還原出奈米氯化銀個數	1.2*10 ²⁰	2.4*10 ²⁰	3.6*10 ²⁰	4.8*10 ²⁰	6.0*10 ²⁰

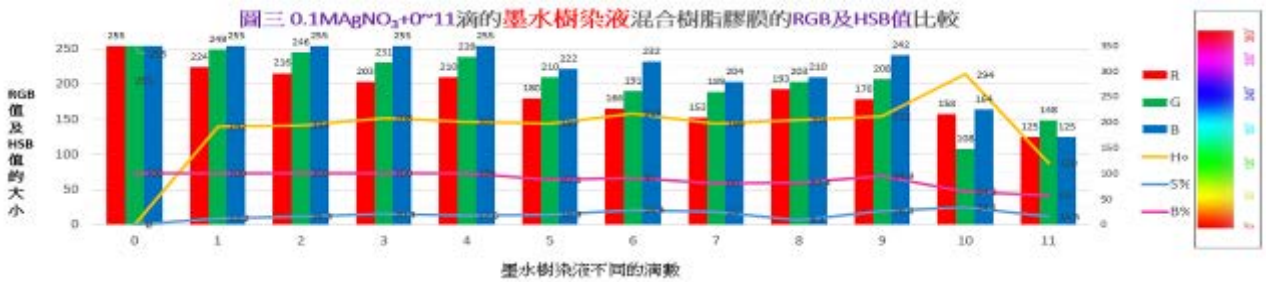
原以為，用濃度低的硝酸銀和氯化鈉反應，會不會產生像不同規格奈米銀，呈現有顏色且透明的真溶液，結果，全部都是產生白色不同程度的混濁物，放置超過三天以上，就沈澱在下層了。

2. 原本拿了 2 個分液漏斗要分離固液取固形物再加上洗滌出沒有 NaNO₃ 的 AgCl，結果分離時，固液一齊跑下來，我們只好搬出陳年的離心機來使用，還好它沒壞。依序把所有等體積的兩管，不管沈澱物多少，都用吸管抽放三次後，將混濁物吸到離心管內，開啟離心機一分鐘後，固液分離，小心吸除等體積的上層液，再各加下兩管，反覆五次後，集合了總固形物與白膠稀釋液混合均勻後分裝做後續實驗。

3. 觀察實驗八 AgCl 膠體或染敏 AgCl 膠體照光的變色膜及實驗九、以鑑色儀比較變色膜 RGB

發現：變色膜薄層又透明，顏色變化不是很明顯，主要為 AgCl 膠體與其它溶液或染敏 AgCl 膠體，GY-33 顏色感測器記錄測出的色塊上的 RGB 值變化不大，尤其是沒有什麼顏色的蘆薈凝膠，連左手香萃取液也顏色區別不大；茜草染液、紫膠蟲染液及 CuCl₂ 溶液是有一些變化；是否 AgCl 膠體成團聚顆粒較大且較安定，照光時間及光能強度不足以讓氯化銀產生競爭現象而產生較明顯的色變？。所以，我們想直接改用硝酸銀溶液加染液或其它氯化物，讓它們在白膠稀釋液內混合均勻後照光比較看看，為了明顯看到 RGB 值的變化，我們決定也提高硝酸銀的濃度為 0.1M，體積也增加為 1 mL，再將各溶液或染液量提高至 0~11 滴，加上對照組共 12 方格的十字圓來測定照光前後的 RGB 值變化。

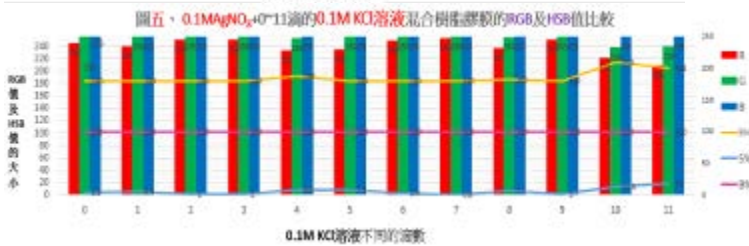
4. 實驗九~實驗十二的結果討論如下圖示及說明



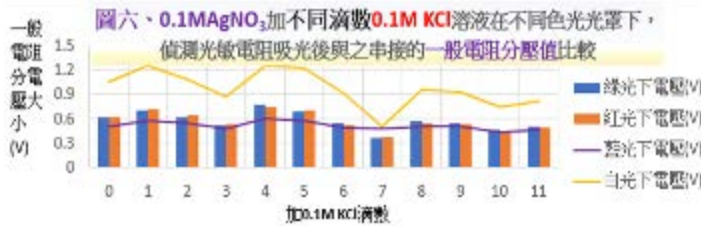
5.圖三之色相有變化，飽和度有增加，明度有下降均顯示加墨水樹染液與硝酸銀混合樹脂膠膜有產生奈米銀的色變現象。



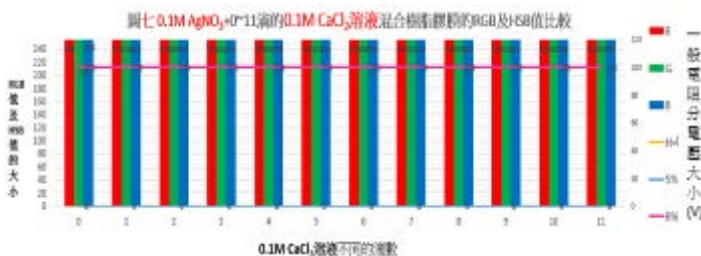
6.一般電阻分壓值白光>>藍光>紅光≈綠光：果然白光是複合光，光能較強，所以光敏電阻感光值愈高，電阻下降多故與之六串接的一般電阻的分電壓愈大，變色膜變愈深，分電壓值變小。



7.圖五硝酸銀和 KCl 之配方膠色相值沒什前 10 滴沒有變化，10 滴以後，色相及飽和度才略有變化，從明度幾乎維持 100 來看，此配方膠暫不適合做變色膜，但照光可再觀察。

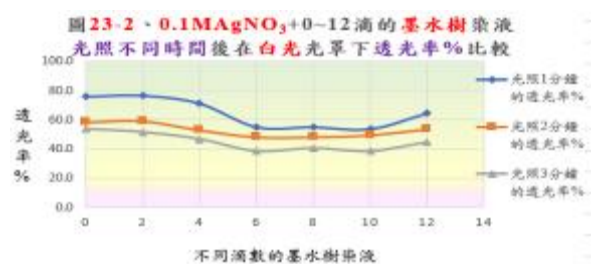
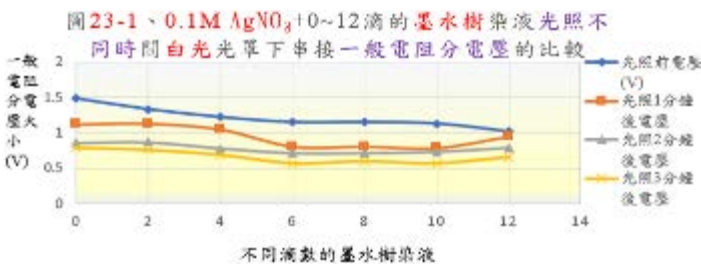


8.圖六只用 3V 電壓就可看出各色光下一般電阻分電壓有些起伏的變化，是否為膠膜不夠均相，亦或產生微量之奈米銀沉積物均需再研究



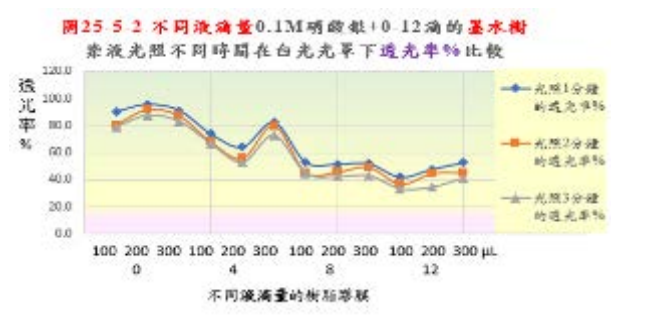
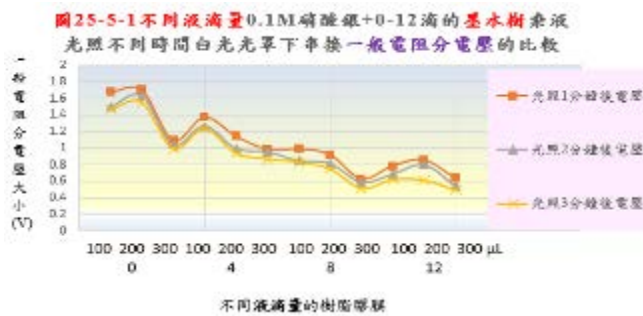
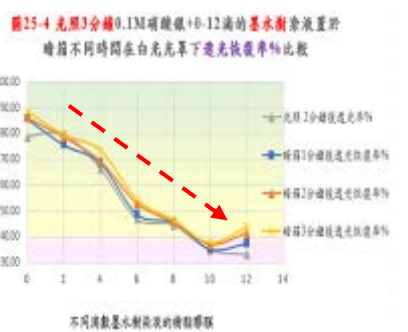
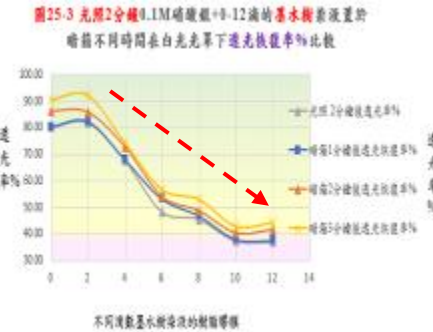
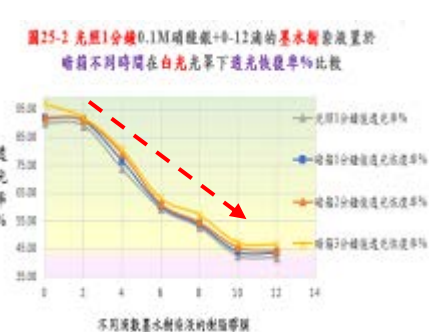
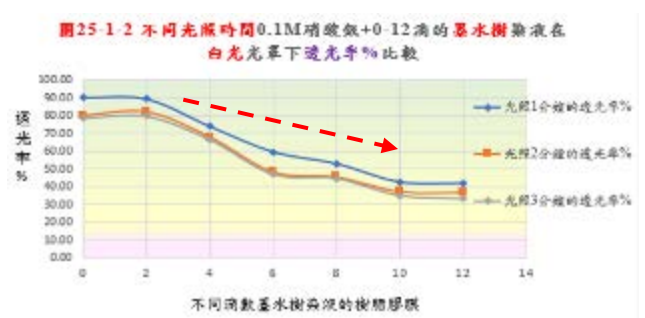
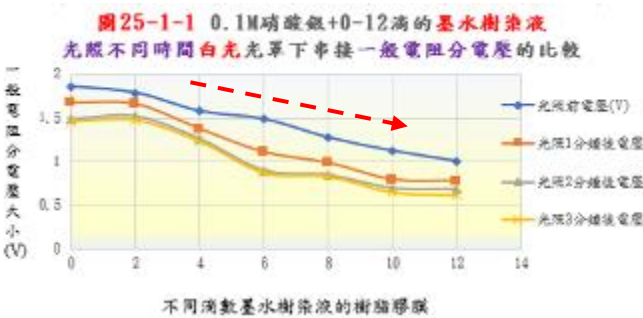
(因版面關係，圖九~圖 22 略)

9.綜合以上實測圖示，我們決定集中鎖定墨水樹染材先進行分電壓及透光率之實驗。

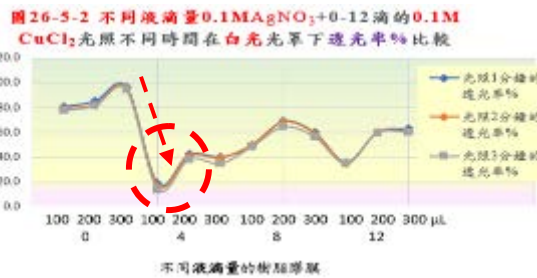
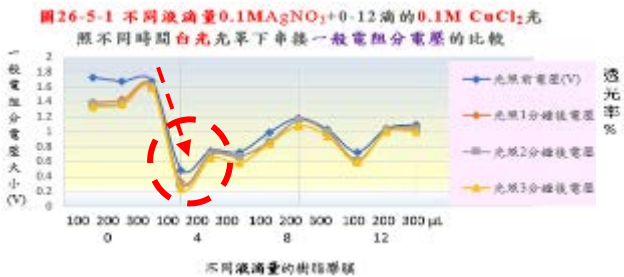
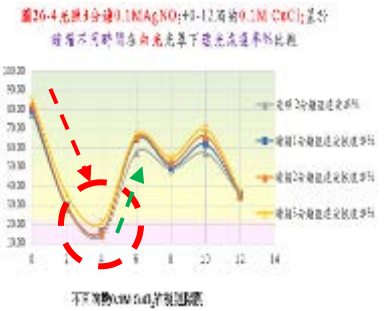
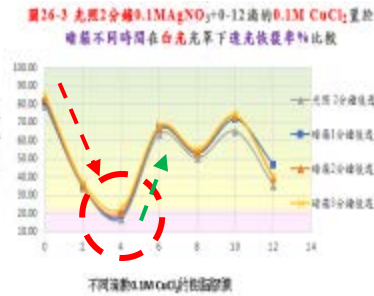
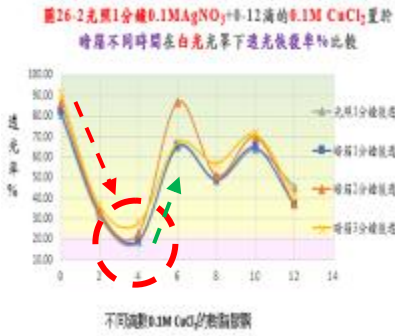
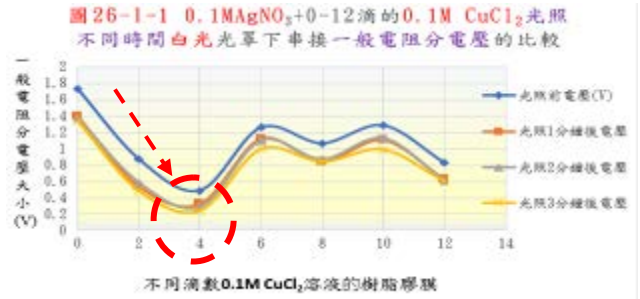




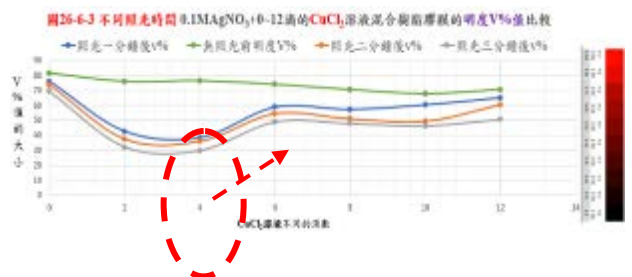
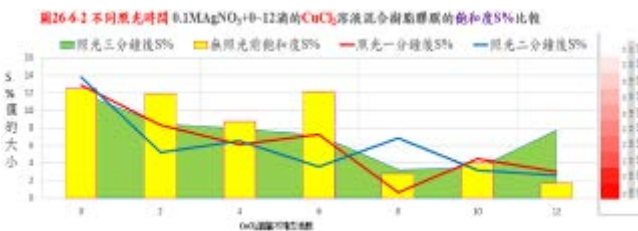
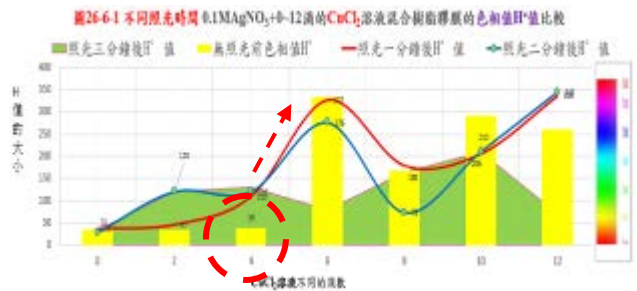
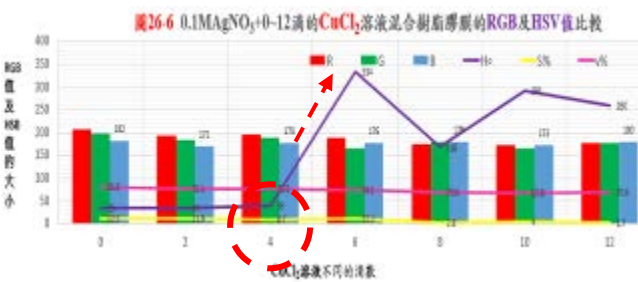
10.以上在晴天日光下光照不同時間做分電壓測定，光照愈久，電壓下降且透光率也有下降，但曲線太平，不同滴數的光照結果看不太出來，光照系統用自製且為控制變因再比較。透光率=置於白光燈條的光罩下，偵側透光率= B 配方膠/ A_0 *100%，就可以算出每個配方膠的透光率。

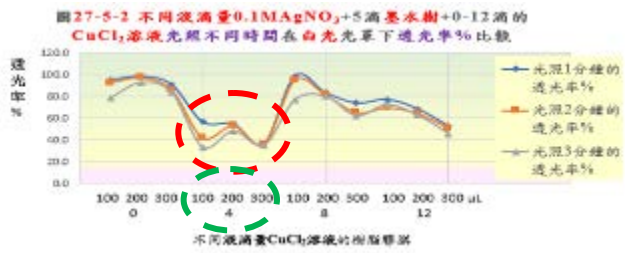
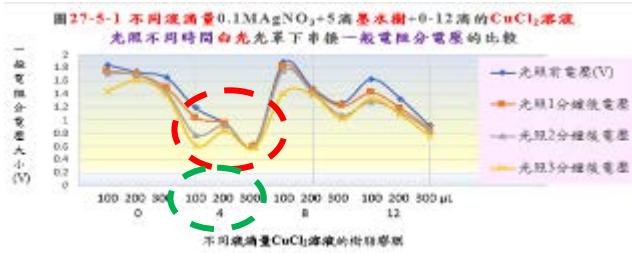
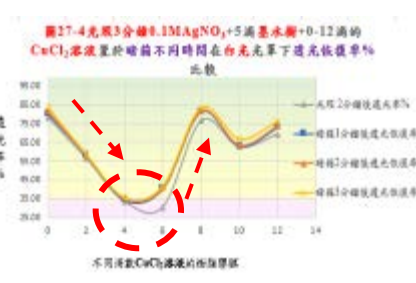
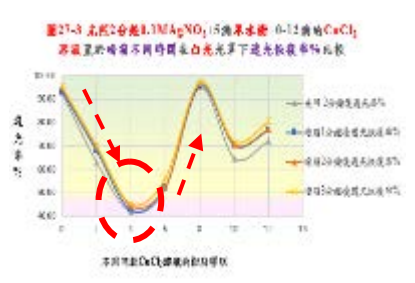
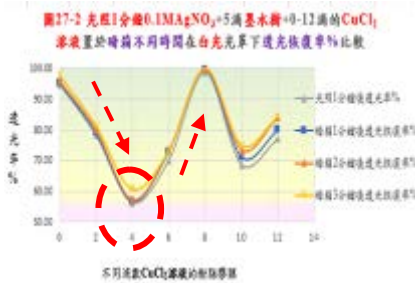
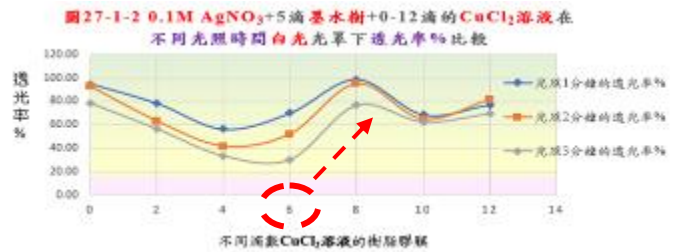
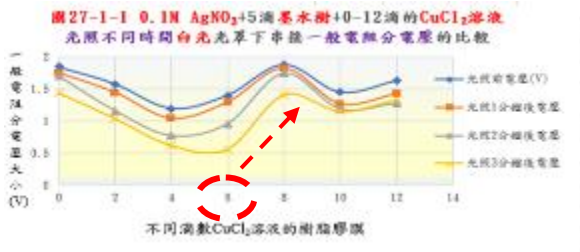


11.改進光照系統，控制樹脂膠膜劑量，分電壓及透光率及透光恢復率的結果均為染劑滴數愈多，敏化奈米銀析出量增加，所以光敏電阻感光程度下降，一般電阻分電壓降低，透光度下降，但配方膠膜置於暗箱時間愈多，透光恢復率亦有增大之趨勢。

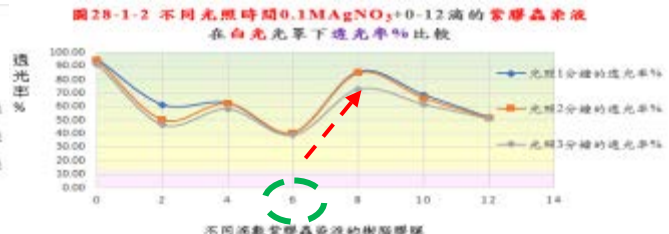
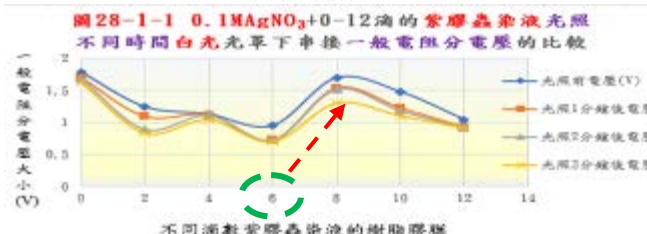
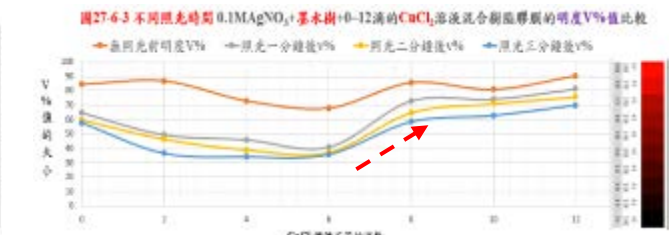
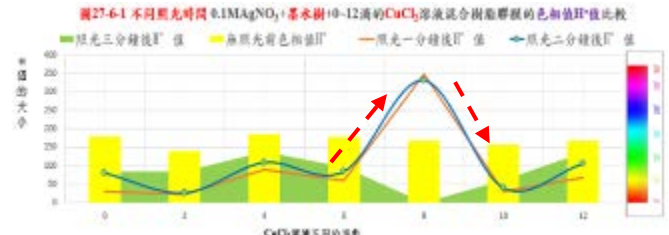
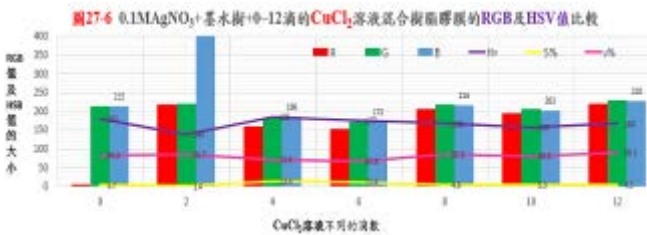


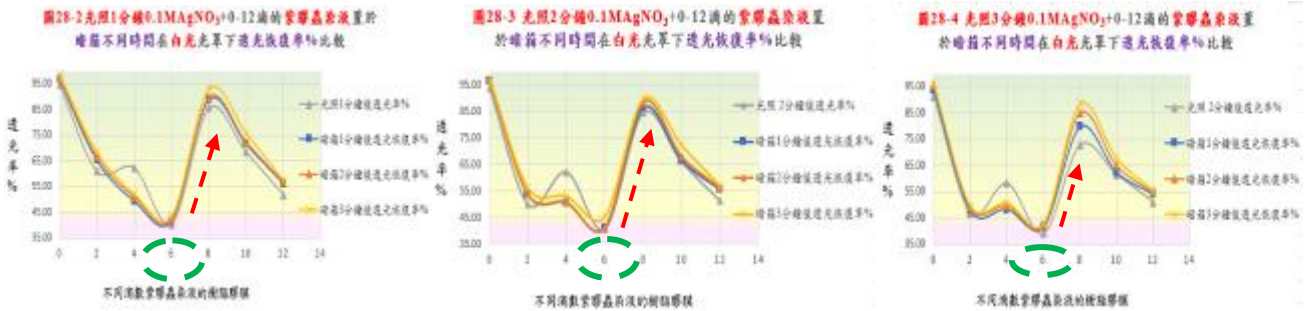
12.以上圖表顯示，氯化銅四滴液量時，奈米銀析出為最大量，所以透光率最低，大於四滴液量後，氯分子與奈米銀的競爭性部分產生逆反應透光率有回升的現象。以下圖表四滴後的色相值變化突然陡升及4滴後明度V%(圖26-6-3)回升，也是同樣的說明實證。



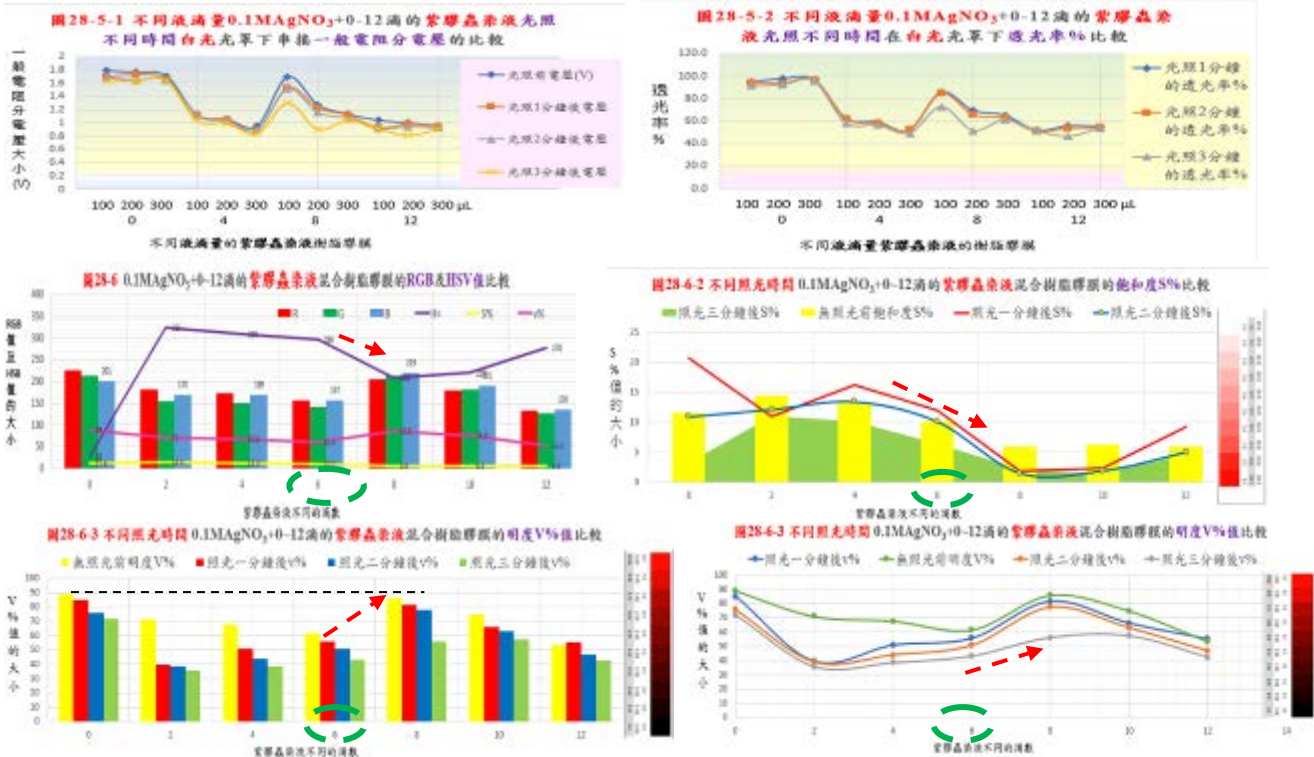


13.如 12 說明，加了墨水樹的硝酸銀與氯化銅照光後也有氯與奈米銀競爭產生逆反應現象。

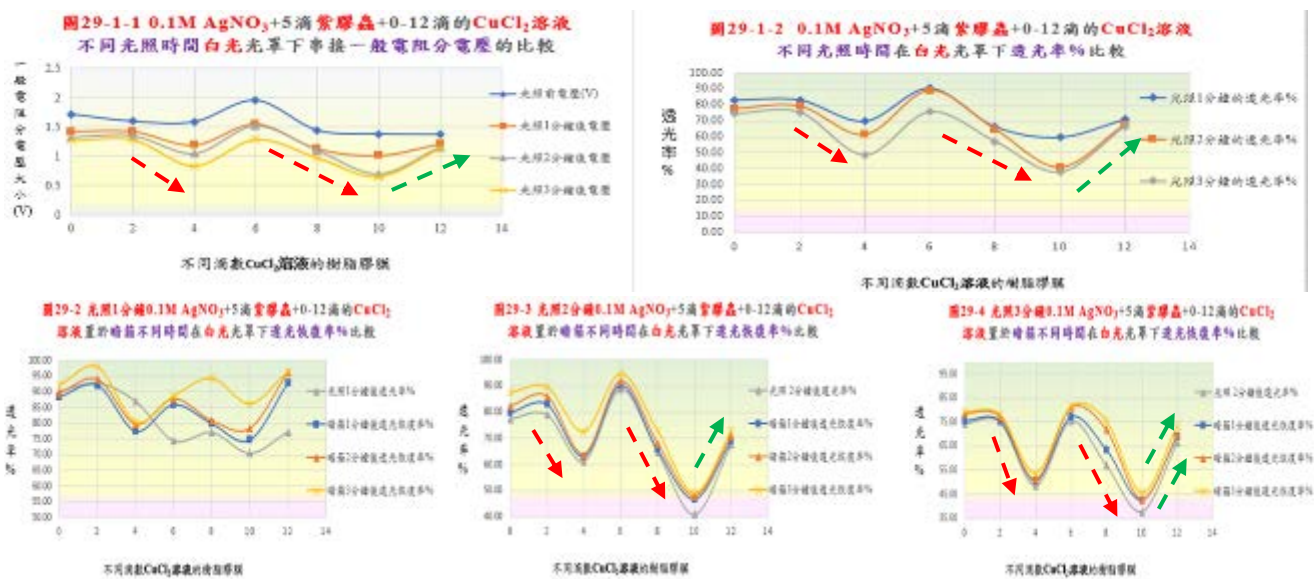


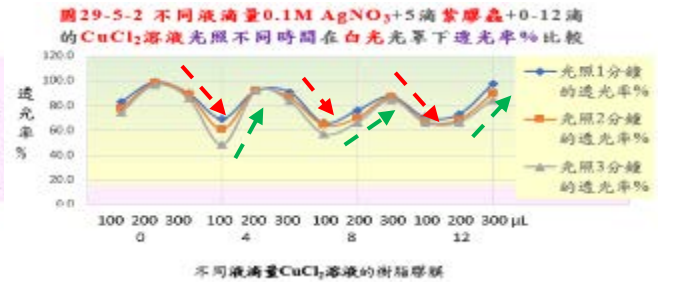
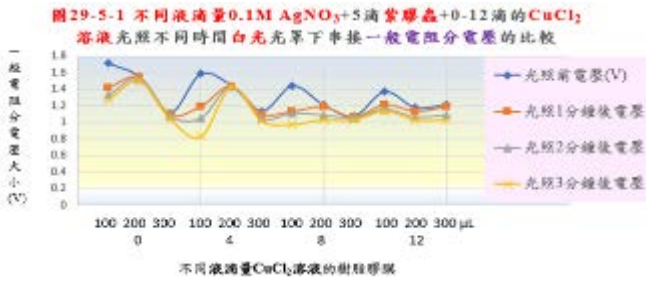


14. 由光照硝酸銀敏化產生奈米銀最大值为 6 滴紫膠蟲染液，之後也有逆反應現象而透光率回升。

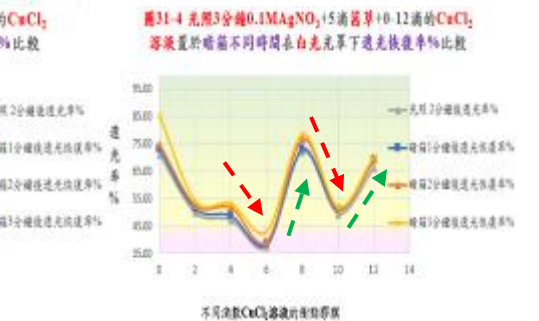
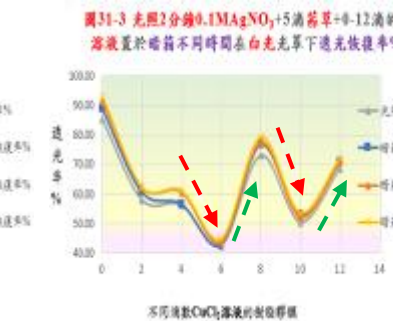
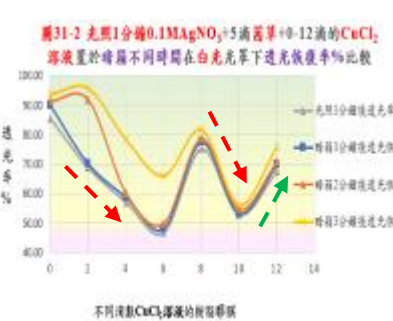
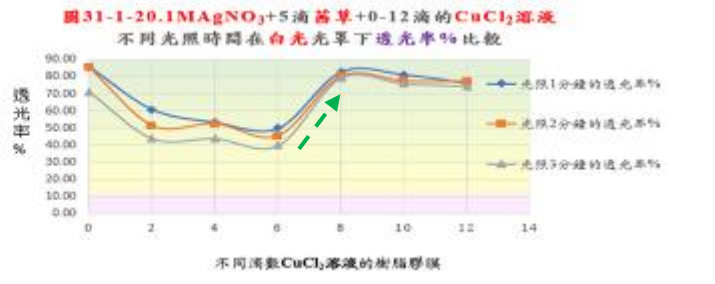
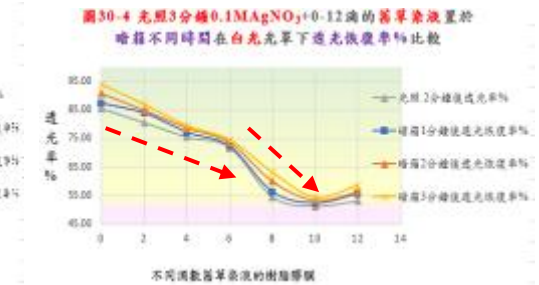
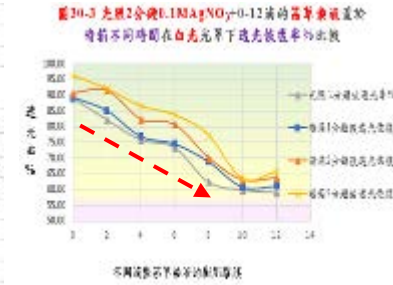
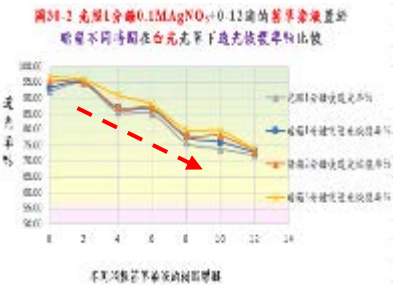
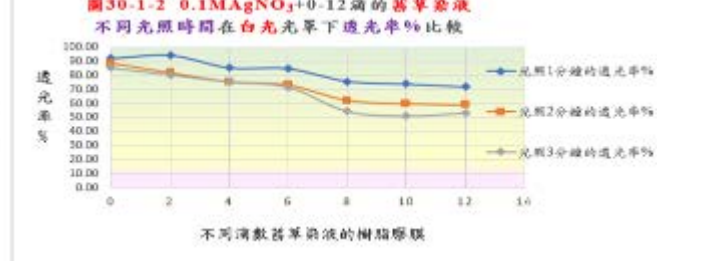
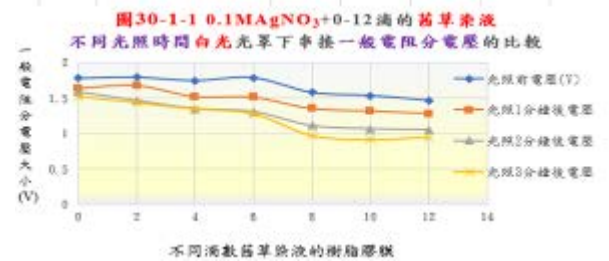
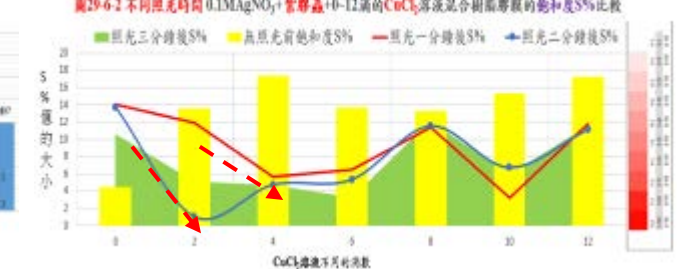
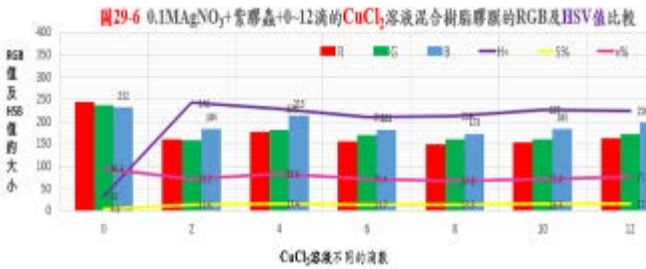


15. 由 RGB 值轉 HSV 值也可看出加 6 滴後明度 H 值產生明顯變化，飽和度 S 值也下降頗多，明度 V 值上升也是證明。





16.有紫膠蟲照光敏化硝酸銀的銀離子，產生的奈米銀再與滴數增多的氯化銅產生競爭性逆反應





(因版面關係，如目錄的多張圖略)

陸、 結論

- 1.在銀離子與天然染劑的還原性實驗中發現，銀金屬外觀應為銀白色澤，但在溶液中若析出奈米銀，易與液中含氧或空氣中的氧進行氧化反應而產生黑色的氧化銀分子，所以，以 Dino-Lite 顯微鏡頭照出黑點即可證明墨水樹染液照光，的確能將電子躍遷至銀離子使其還原。
- 2.以數位顯微鏡 Dino-Lite 鏡頭觀察0.1M AgNO₃加墨水樹照光1分鐘比0.1M CuSO₄加墨水樹照光1分鐘產生的金屬還原性顆粒還要多(兩者控制變因完全相同)，由此可見，金屬原子活性：Cu > Ag，但是，離子活性：Ag⁺ > Cu²⁺，兩種離子遇墨水樹染料分子敏化(染料上的電子因照 UV 光而產生電子躍遷至金屬離子上的現象)的速率大小不同，且銀離子濃度愈高，敏化產生金屬還原性的顆粒更多，而且照光時間變長，結果則更明顯。
- 3.我們發現，保龍膠以酒精當溶劑，所有其它的硝酸銀、墨水樹染劑、氯化銅等也應以酒精當溶劑為佳。果然，實驗比較溶劑的一致性易顯現有色透明的薄層，水相的硝酸銀、墨水樹、氯化銅等則與保龍膠產生白色的乳化現象，透明度變差；而保龍膠則有微小氣泡(液相蒸發形成小氣室)的現象產生。
- 4.在快速攪拌硝酸銀與墨水樹染劑時發現，在室內日光燈照射下，居然就色變了，所以，為了避免受到日光燈下看不見的紫外線照射影響實驗結果，剛製備好的變色膜均應置於暗箱中乾燥。
- 5.黏膠與溶劑比例為4：1，對白膠而言恰好；對保龍膠來說，應該可以再提高，但是對膠水黏膠而言，就太稀了！比較各凝膠膜乾燥後的可撕開的完整性：保龍膠膜>白膠膜>膠水膜。
- 6.含硝酸銀及墨水樹的黏膠，隨著加入的氯化銅滴數變多，咖啡色的凝膠會產生色變(淺紫系列)，反覆操作多次結果均為如此，用保麗龍膠及酒精溶劑製凝膠的色變結果更是明顯。
- 7.硝酸銀與染液形成的凝膠膜在白光燈條的光罩下，染液滴數愈多、色愈深，光敏吸光率變低，光敏電阻下降率減少，與之串接一般電阻電壓值變小，故透光率下降【透光率=B/A₀*100%】。照光時間長或層數愈多，透光率下降也較明顯。特別的是，加氯化銅的滴數變多，透光率卻增加，是否為氯化銅的銅離子與奈米銀照光競爭產生電子轉移的結果需再探究。
- 8.我們以 Gy33感測器記錄變色膜的 RGB 值，轉由變色膜的色相值可確切得知光變色薄膜顏色變化的程度，以此製成可黏貼在眼鏡上的塑膠薄膜或未來製作整張汽車玻璃或窗戶玻璃上，應可達到光穿透率變低，光不刺眼、防曬，使車內或室內溫度下降，達到節能減碳成為可能。

柒、 參考文獻資料

- 1.自然第三冊第 2-2 水溶液-飽和溶液與溶解度 康軒文教事業
- 2.自然第四冊第一章 氧化還原反應的應用 康軒文教事業
- 3.自然第五冊第四章 基本電路 康軒文教事業
- 4.嚴鴻仁 徐善慧 中興大學化學工程學系科學發展 2008 年 11 月，431 期
- 5.楓葉變紅了-天然色素的顏色化學《科學發展》2004 年 9 月，381 期，54 ~ 59 頁
- 6.科技大觀園 <https://scitechvista.nat.gov.tw/Article/C000003/detail?ID=bb044563-fa8b-45b3-a620-abca9eb2f21393/09/08> 蔡尚恬 中興大學昆蟲學系 蔡振章 高雄大學應用化學
7. 歷屆科展 (1)郭珈好等(2021) 中華民國第 61 屆中小學科學展覽會，臺中市
(2)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
- 8.網站資料(1) <https://zh.wikipedia.org/wiki/蘇木精>
(2)<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%A2%A8%E6%B0%B4%E6%A8%B9>
- (3)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
- (4)顏色代碼轉換器和轉換公式。 <https://www.rapidtables.org/zh-TW/convert/color/rgb-to-hsv.html>
- 9.施正雄， 2014 年 10 月，儀器分析原理與應用，五南圖書出版股份有限公司
- 10.馬毓秀(2008)。四季繽紛草木染。台北：遠流

【評語】 030215

自製光照裝置，以 Gy33 感測器所得 RGB 值，探討比較各種天然染料混合銀離子膠體製成變色薄膜的影響變因，自行組合檢測工具有創意，對於實驗所得結果，有些與變因未成線性關係，應予以說明比較理想。能自製抽氣乾燥暗箱、3w 鋁基板光照箱、多色光光罩吸光儀，相當值得鼓勵。

以自製抽氣乾燥暗箱及 3w 鋁基板光照箱，自製多色光光罩吸光儀可記錄光敏電阻感光電阻下降，偵測與之串接的一般電阻電壓提高的多寡，可推算出透光率及透光恢復率的大小。數據圖表建議編號標示清楚，很有挑戰的主題也很有獨立思考的能力與創意！

作品簡報

光照無所遁形

~ 奈米銀變色膜的研究

關鍵詞：奈米銀

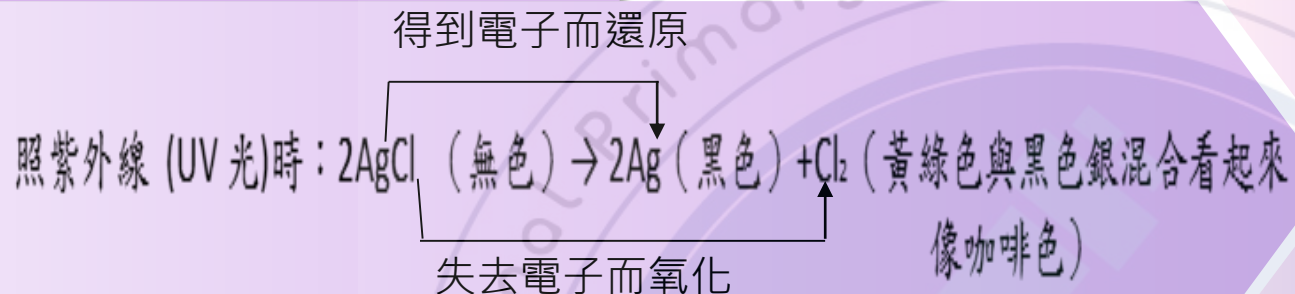
氧化還原

光致變色



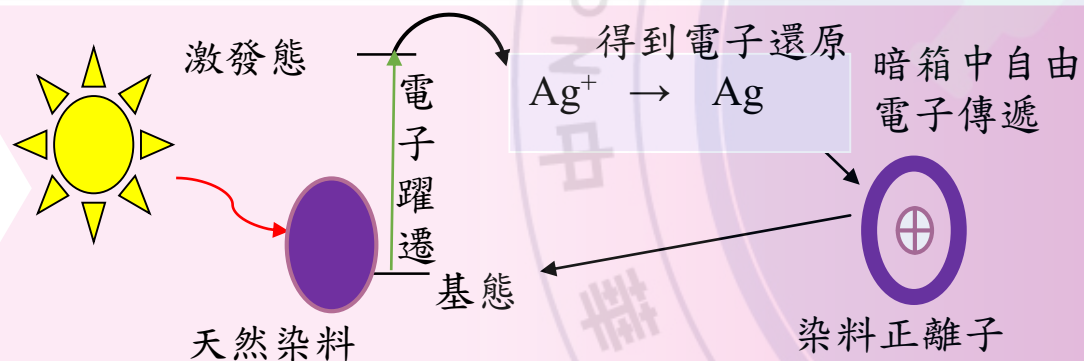
光致變色薄膜的原理

光致變色原理及創新設計概念

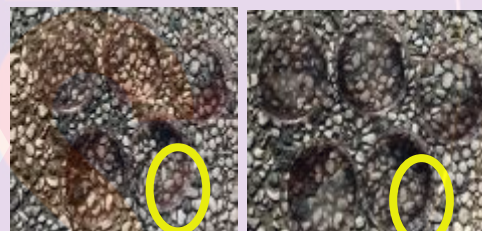


1. 正反應：氯化銀的氯離子受到UV光照射後，氧化成氯分子，使銀離子還原成銀原子，再結合成較大的銀膠粒子，使鏡片變暗。
2. 逆反應：UV停止照射後，活潑的氯分子由銀原子處搶到電子變回氯離子、銀原子變回銀離子再回到透明狀態。

創新染敏奈米銀變色膜設計概念

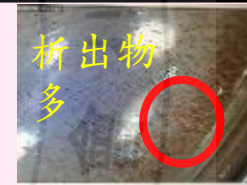


敏化硝酸銀一分鐘、十分鐘



光照無所遁形

顯微放大比較敏化硝酸銀、硫酸銅



析出物多
0.1 M AgNO_3



析出物少
0.1 M CuSO_4

染敏化活性： $\text{Ag}^+ > \text{Cu}^{2+}$

1. 染料分子(Dye) 照射UV光，電子從基態躍升至不穩定的激發態(Dye*)光激發反應(Photoexcitation)： $\text{Dye}(\text{基態}) + h\nu \rightarrow \text{Dye}^*(\text{激發態})$

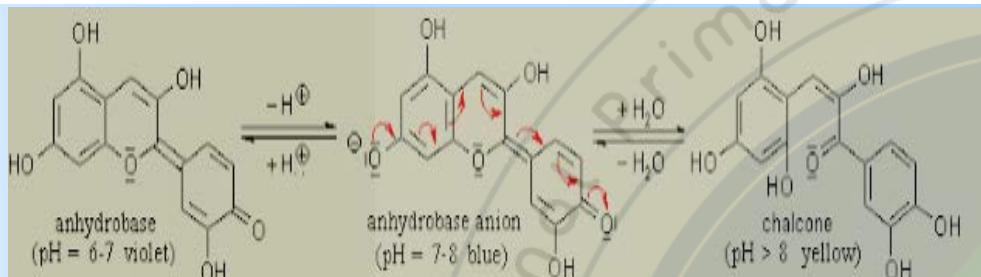
2. 激發態的染料分子(Dye*)可將激發態電子迅速導入 Ag^+ 中，使 Ag^+ 得到電子而還原，而失去電子的染料分子則為氧化型態的染料正離子(Dye+)： $\text{Dye}^* + \text{Ag}^+ \rightarrow \text{Dye}^+ + \text{Ag}$

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： $\text{Ag} \rightarrow \text{Ag}^+$

4. 為了避免奈米銀原子堆積成團，以白膠(水溶劑稀釋)或保麗龍膠(酒精溶劑稀釋)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，凝膠膜照光下由原來透明的 Ag^+ 離子態變成半透明奈米銀的變色膜。

花青素電子傳遞的變色原理及實驗方法

花青素在不同 pH 值環境下，共軛結構產生電子的傳遞效應，使得吸收波長改變而顯現不同的顏色。



(圖片來源：http://www.uni-r.de/Fakultaeten/nat_Fak_IV/Organische_Chemie/Didaktik/Keusch/Grafik/anthpH1e.gif)

圖示來源：蔡尚恬 中興大學昆蟲學系 蔡振章 高雄大學應用化學 楓葉變紅了-天然色素的顏色化學《科學發展》2004年9月，381期，54~59頁

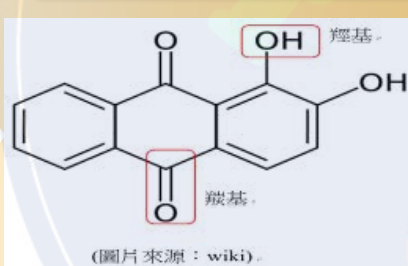
植物色素	吸收光譜顏色	波長(nm)	呈色
葉綠素	紅光、藍光	640~660 420~430	綠色
胡蘿蔔素、葉黃素	藍光、藍紫光	460 480	黃色
花青素	藍光、藍紫光、紫光	500	紅色

顏色	吸收光波			物質呈色
	波長 (nm)	頻率 (s ⁻¹)	光子能量 (J · photon ⁻¹)	
紫色光	425	7.1 × 10 ¹⁴	4.7 × 10 ⁻¹⁹	黃色
藍色光	475	6.3 × 10 ¹⁴	4.2 × 10 ⁻¹⁹	橙色
藍綠光	500	6.0 × 10 ¹⁴	4.0 × 10 ⁻¹⁹	紅色
綠色光	525	5.7 × 10 ¹⁴	3.8 × 10 ⁻¹⁹	紫紅色
黃色光	575	5.2 × 10 ¹⁴	3.4 × 10 ⁻¹⁹	紫色
橙色光	625	4.8 × 10 ¹⁴	3.2 × 10 ⁻¹⁹	藍色
紅色光	700	4.3 × 10 ¹⁴	2.8 × 10 ⁻¹⁹	藍綠色

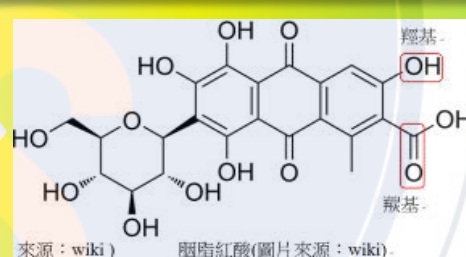
我們使用的天然染料—墨水樹



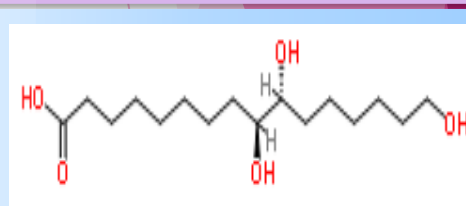
茜草根內的茜素



胭脂蟲中的胭脂紅酸



紫膠蟲中的蟲膠酸

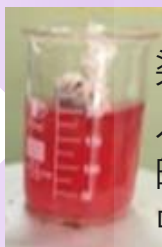


圖示來源：wiki

OH可以抓住金屬鹽，而物質顯色原理就是吸附可見光中的某段波長，所以人眼看到的顏色是該物質所吸收光的補色。

染液製備

將定量的墨水樹染材裝在自製布袋內，袋口拉緊



染材放入定量的水杯中



染材杯放置電磁攪拌器加積木裝置中加熱攪拌

硝酸銀的濃度配製及稀釋

將8.5g的AgNO₃→ 倒入水中→攪拌溶解→倒入100 mL 量瓶中，加水稀釋至刻度線上

	0.1MA 液	0.2MA 液	0.3MA 液	0.4MA 液	0.5MA 液
AgNO ₃ (aq) (mL)	2	4	6	8	10
水(mL)	8	6	4	2	0

變色膜製作

實驗裝置及設計

實驗三、設計自製的抽氣乾燥暗箱



▶ 組裝正立方型鋼架。彩色PP板裁切出比角鋼架略小的規格五片，先以泡棉膠黏貼於鋼架左、右、底、後的四個位置



▶ 以PP板做兩個方型式煙囪的排出口。將變壓器接上兩個電腦排風扇以電路並聯接法，共接紅黑鱷魚夾線，最後以剩下的PP板、黑色壁報紙、魔鬼粘沾組成上掀式的外門



▶ 以智高積木組合成A4投影片多層中空置物架，小灰底盤則可放置小片的護貝膠膜



▶ 置放實驗用A4投影片及護貝膠膜，完成圖

▶ 市售桌上型的排氣煙櫃一座寬80 cm*深70 cm*高121 cm，市價不斐，居然要價到69500元。網站上的抽氣乾燥箱太貴太大

實驗四、設計自製的光照裝置



3W鋁基板LED正面



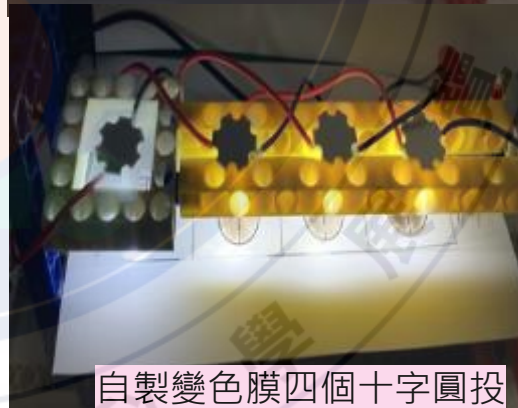
背面



串接四顆3W鋁基板LED 依序由左至右為藍、綠、白、白光的LED



12V變壓器串接四顆3W鋁基板白光LED



自製變色膜四個十字圓投影片置於光源下方



以西卡紙內貼黑色壁報紙做成長方盒蓋



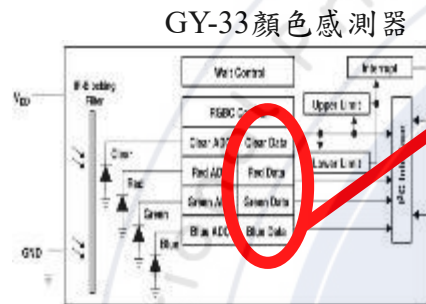
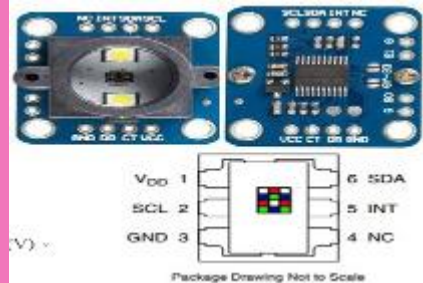
取代日光、不怕陰雨及光源強度不一且配合自製變色膜四個十字圓投影片位置的白光光照裝置 (光源強度成控制變因)

偵測儀器設計

實驗六、自製多色光光罩光敏電阻吸光儀

實驗五、以鑑色儀比較觀察凝膠膜照光前後變色膜的RGB

GY-33顏色感測器：是由兩顆白光和中間的感光器所組成的

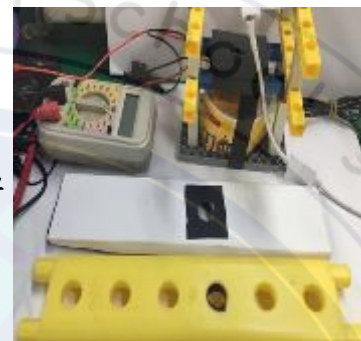


ADC是指類比數位訊號轉換
把布反射出來的光轉換成電的類比訊號再轉換成數位數字再傳送到電腦變成RGB

GY-33顏色感測器校正後，可快速測出變色色上同樣區塊面積的RGB值



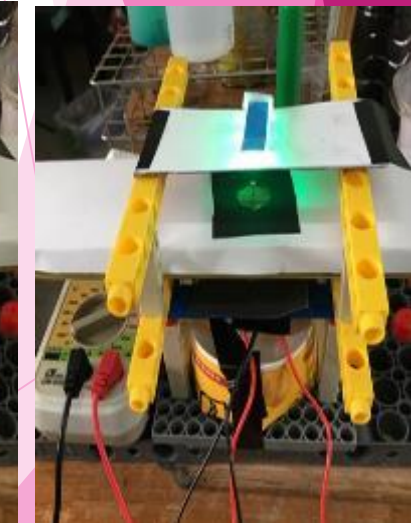
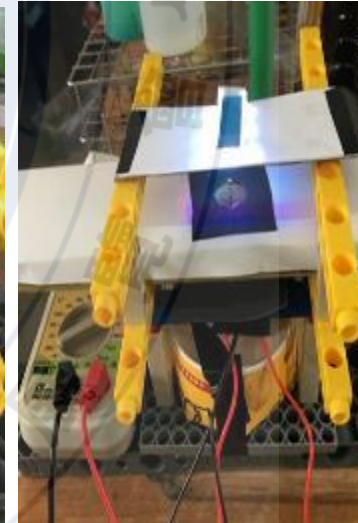
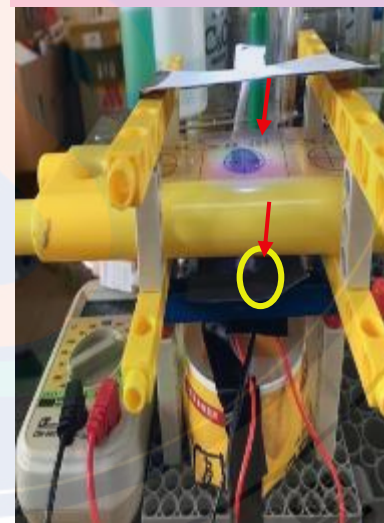
再利用線上顏色代碼轉換工具，轉換成HSB或HSV值來分析變色膜的顏色



以智高積木做成參層支撐架，前方為置放變色膜投影片的多孔支撐板，偵測孔內需黏貼黑色膠帶為遮光通道

西卡紙折成口型，內外均貼上黑色壁報紙做成遮罩，開一個變色膜大小的偵測孔

多色三個LED燈條(只用一燈)接12V變壓器為光源，光敏電阻與一般電阻串接，外接電源及三用電錶為偵測端



十字圓周圍應遮光，以避免被其它背景光干擾

做好開放式的遮光系統，就可方便做十字圓變色膜的照光偵測，每次偵測時，應將上下孔洞對好，讓光源可達光敏電阻上使其感光

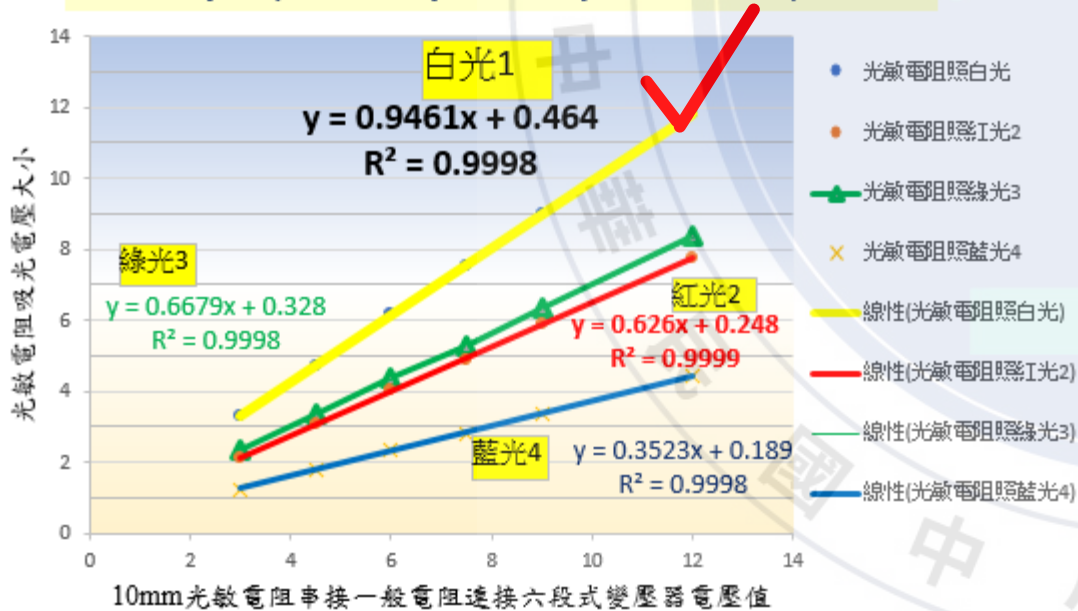
實驗六、自製多色光光罩光敏電阻吸光儀

十六色光光罩光敏吸光儀光敏電阻串接一般電阻的電壓大小比較

燈色編號	1	2	3	4	5	6	7	8
3v源偵測v	2.30	1.48	1.62	0.86	1.75	1.69	1.38	1.90
4.5v源偵測v	3.30	2.15	2.35	1.25	2.51	2.46	1.98	2.73
6v源偵測v	4.33	2.82	3.06	1.63	3.29	3.21	2.59	3.57
7.5v源偵測v	5.25	3.43	3.70	1.97	3.98	3.86	3.14	4.33
9v源偵測v	6.31	4.13	4.45	2.36	4.79	4.66	3.77	5.21
12 v源偵測v	8.27	5.43	5.85	3.09	6.28	6.10	4.94	6.83
燈色編號	10	11	12	13	14	15	16	
3v源偵測v	1.78	1.62	2.03	1.77	1.80	2.58	1.91	1.93
4.5v源偵測v	2.56	2.34	2.93	2.53	2.59	3.10	2.73	2.77
6v源偵測v	3.31	3.05	3.82	3.32	3.39	4.05	3.57	3.62
7.5v源偵測v	4.03	3.69	4.63	4.03	4.10	4.89	4.31	4.38
9v源偵測v	4.85	4.44	5.55	4.83	4.93	5.88	5.19	6.80
12 v源偵測v	6.32	5.80	7.28	6.34	6.46	7.71	5.26	6.90

十六色光光罩光敏吸光儀偵測光敏電阻串接一

圖一、取四色光光罩光敏吸光儀偵測不同電壓下光敏電阻串接一般電阻的分電壓大小的比較



實驗結果與討論 - AgCl變色凝膠膜

實驗七-1、觀察產生AgCl固體微粒的外觀及固液分離

1. 實驗前的計量



mol 1 : 1 : 1 : 1
0.0002 : 0.0002 : 0.0002 : 0.0002

0.0002 mol NaCl = 0.0002 * 分子量58.5 = 0.0117g

0.0002 mol AgNO₃ = 0.02 M * 0.01 L

0.0002 mol AgCl可析出 = 0.0002 * 6 * 10²³ Ag = 1.2 * 10²⁰ 奈米氯化銀粒子物



10 mL NaCl _(aq) (M)	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10
完全置換所需的0.02M AgNO _{3(aq)} (mL)	10	20	30	40	50
可還原出奈米氯化銀個數	1.2*10 ²⁰	2.4*10 ²⁰	3.6*10 ²⁰	4.8*10 ²⁰	6.0*10 ²⁰
10 mL NaCl _(aq) (M)	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10
10 mL AgNO _{3(aq)} (M)	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10
可還原出奈米氯化銀個數	1.2*10 ²⁰	2.4*10 ²⁰	3.6*10 ²⁰	4.8*10 ²⁰	6.0*10 ²⁰

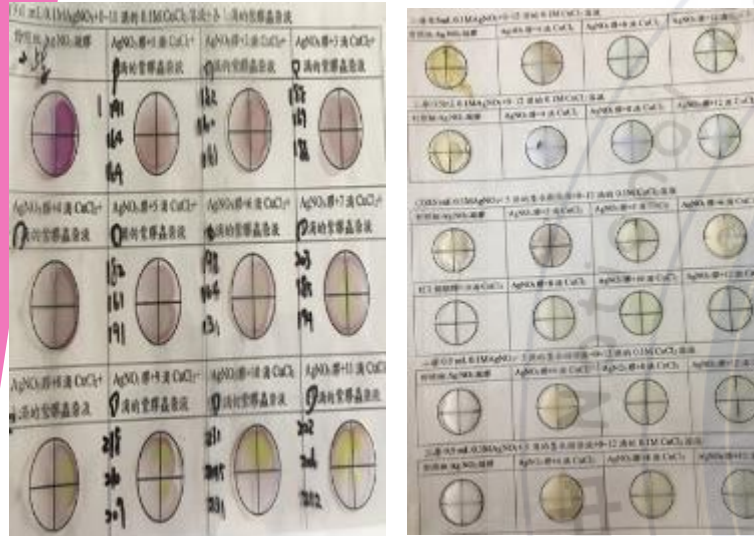
實驗七-2、觀察AgCl膠體照光或染敏AgCl膠體照光的變色膜情形



- (1)氯化鈉的樹脂凝膠+0~6滴的墨水樹染液也準備以下(2)~(6)蘆薈、茜草、左手香、紫膠蟲染液 +0~6滴的0.1M CuCl₂溶液
- 茜草染液、紫膠蟲染液及CuCl₂溶液是有一些變化
- 變色膜的顏色變化不是很明顯，因為薄層又透明，且主要為AgCl膠體與其它溶液或染敏AgCl膠體，尤其是沒有什麼顏色的蘆薈凝膠，連左手香萃取液也顏色區別不大。

實驗結果與討論 - AgNO₃ 變色凝膠膜 - 分電壓 & 及 HSV 值比較 I

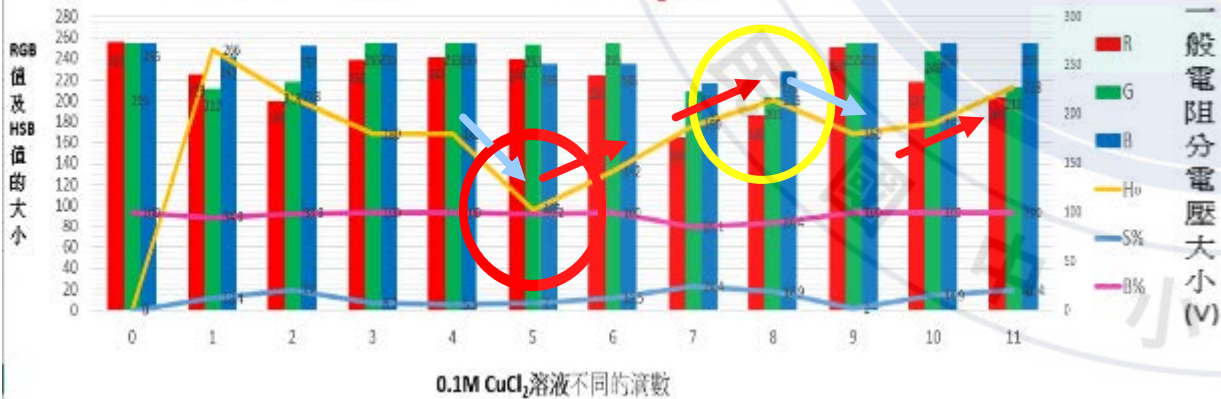
實驗八、觀察硝酸銀與其它染液或溶液產生奈米銀膠照光的變色膜情形變色膜RGB



增加硝酸銀濃度及體積，變色膜有明顯的變色，外觀仍具透光性，配方膠分別照光一~三分鐘，再量測其RGB，顏色有變深的趨勢，時間一久，顏色又變回淺色的現象。

左圖為白膠塗層、右圖為保麗龍塗層；白膠的均勻度不如保麗龍的，乾得較慢，但兩者均可呈現透明有色變的薄層。

圖13、0.1M AgNO₃+2滴的藍苔染液+0~11滴的0.1M CuCl₂溶液混合樹脂膠膜的RGB及HSB值比較



圖八、0.1M AgNO₃加不同滴數0.1M CaCl₂溶液在不同色光光罩下，偵測光敏電阻吸光後與之串接的一般電阻分壓值比較

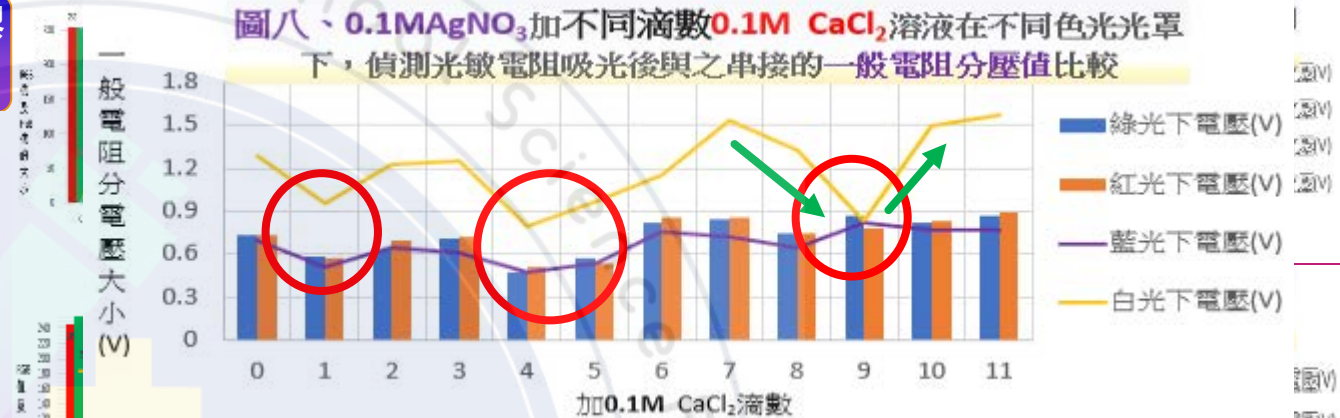


圖11、0.1M AgNO₃+2滴的墨水樹染液+0~11滴的0.1M CuCl₂溶液混合樹脂膠膜的RGB及HSB值比較

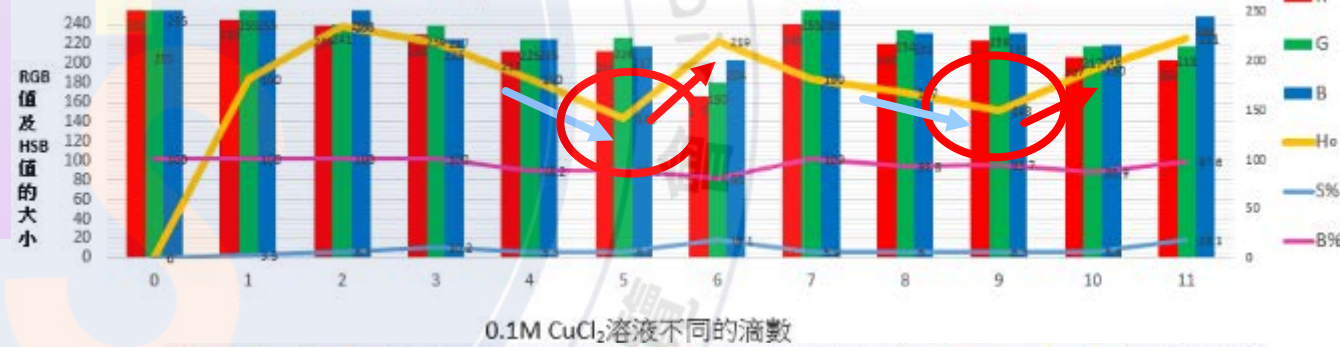


圖12、0.1M AgNO₃+2滴墨水樹加不同滴數0.1M CuCl₂溶液在不同色光光罩下，偵測光敏電阻吸光後與之串接的一般電阻分壓值比較



實驗結果與討論 - AgNO₃ 變色凝膠膜 - 分電壓 & HSV 值比較 II

實驗九、自製多色光光罩光敏電阻吸光儀偵測不同配方膠的一般電阻的分壓變化

圖15、0.1M AgNO₃+0~11滴的紫膠蟲混合樹脂膠膜的RGB及HSB值比較

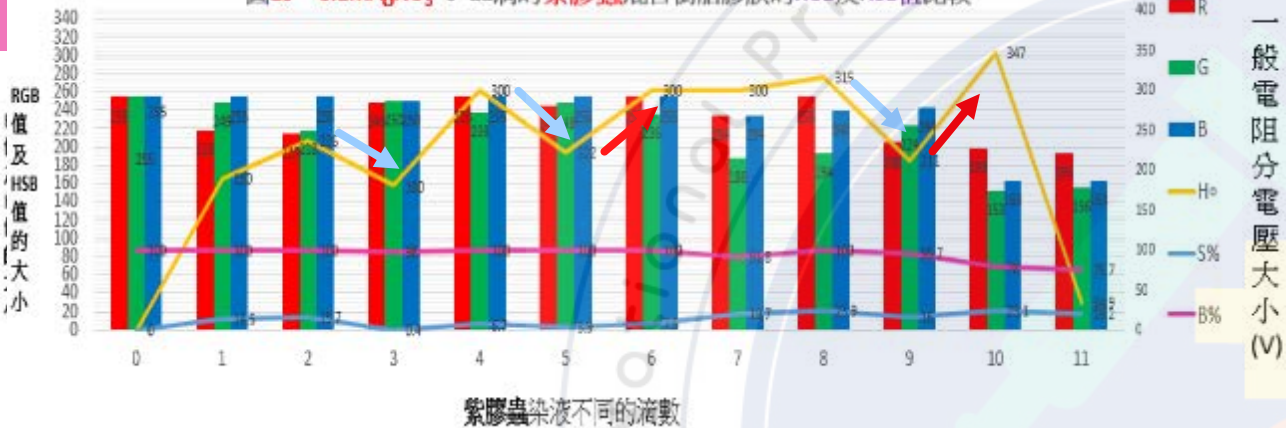


圖16、0.1M AgNO₃加不同滴數紫膠蟲染液在不同色光光罩下，偵測光敏電阻吸光後與之串接的一般電阻分壓值比較



圖17、0.1M AgNO₃+2滴的紫膠蟲染液+0~11滴的0.1M CuCl₂溶液混合樹脂膠膜的RGB及HSB值比較

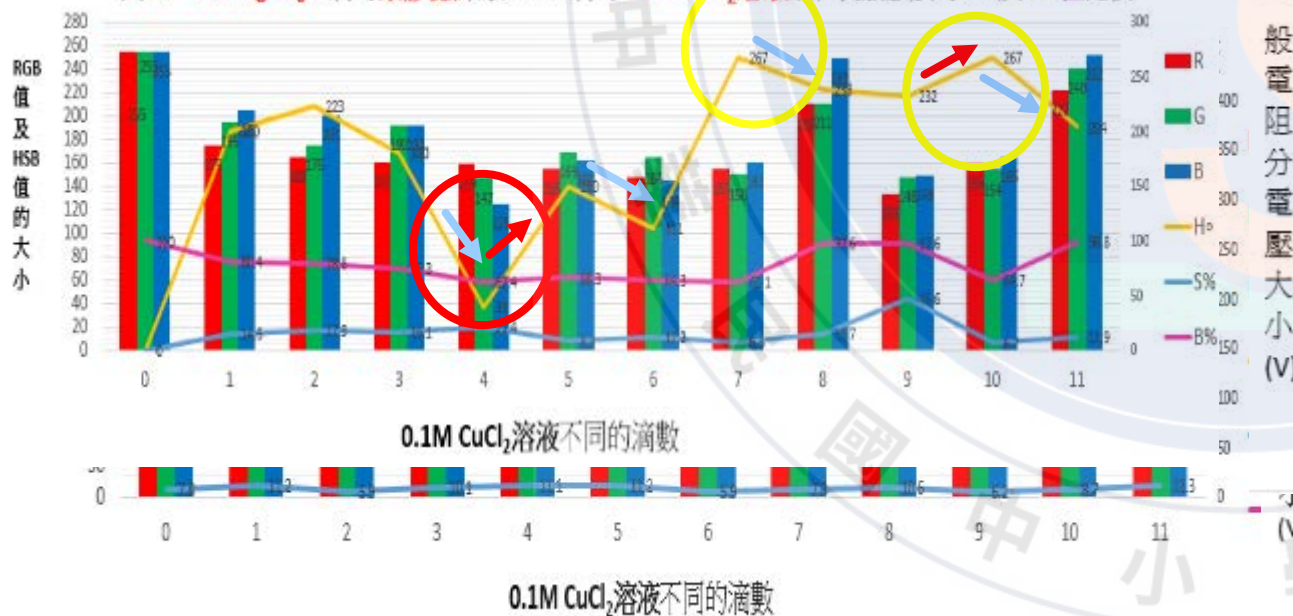
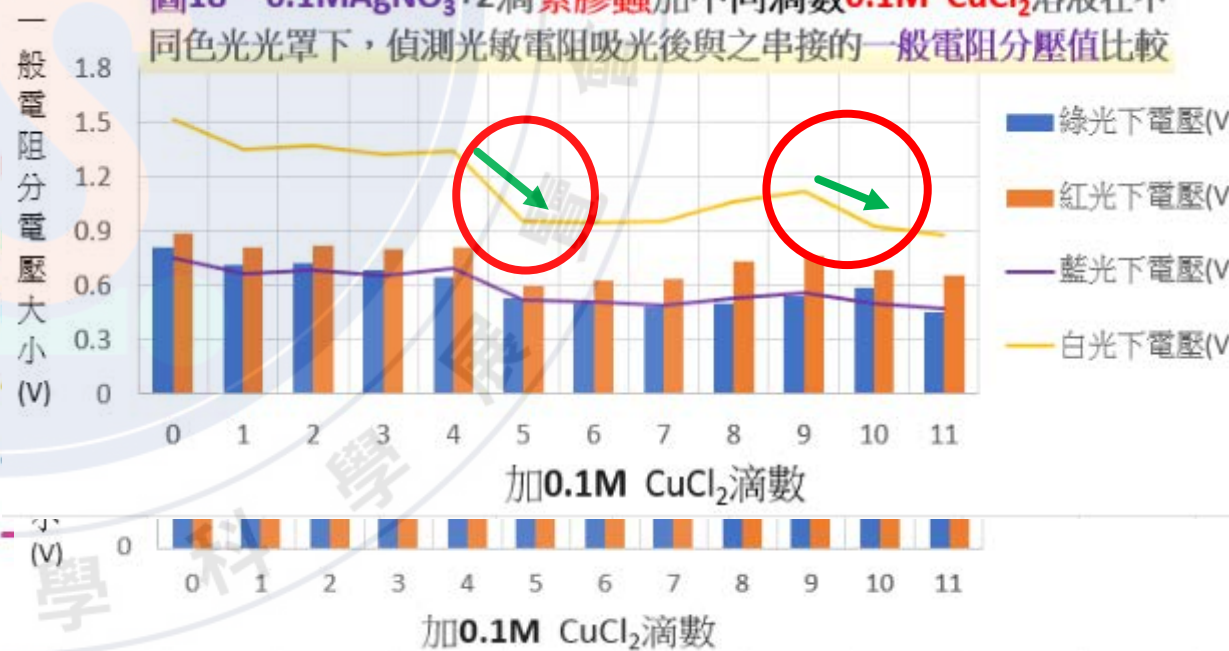


圖18、0.1M AgNO₃+2滴紫膠蟲加不同滴數0.1M CuCl₂溶液在不同色光光罩下，偵測光敏電阻吸光後與之串接的一般電阻分壓值比較



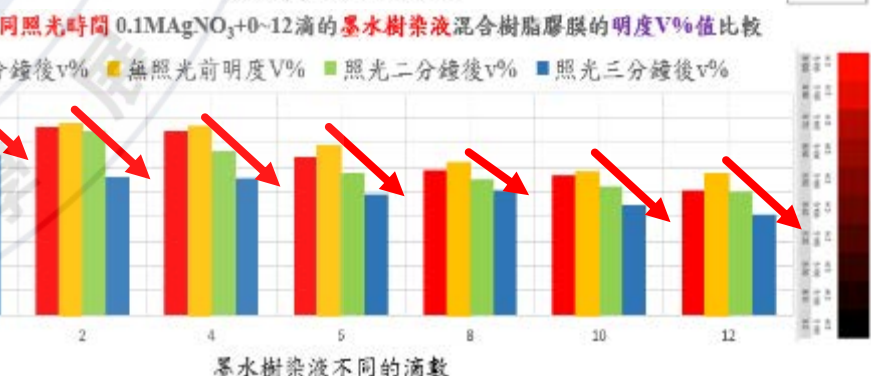
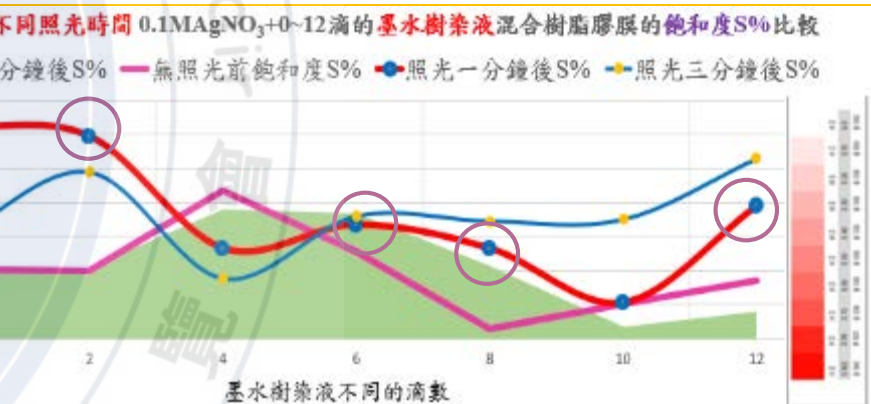
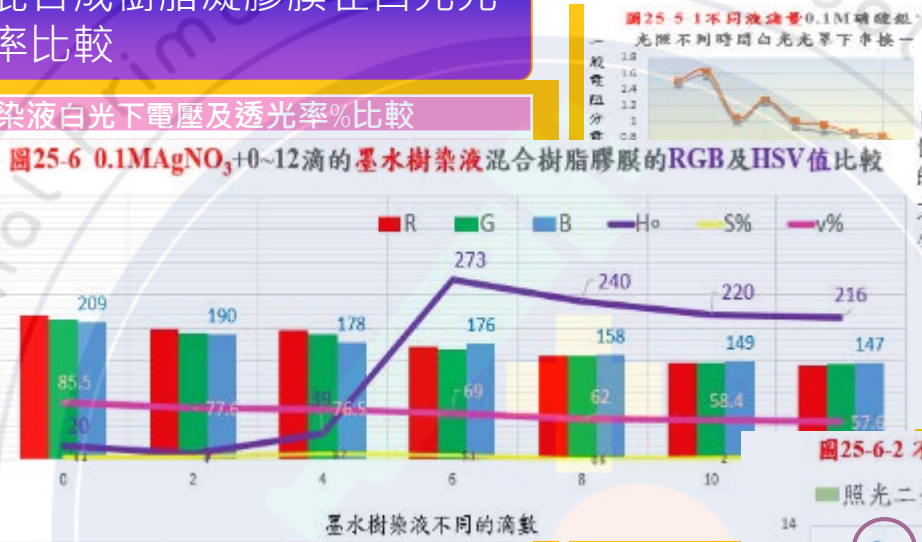
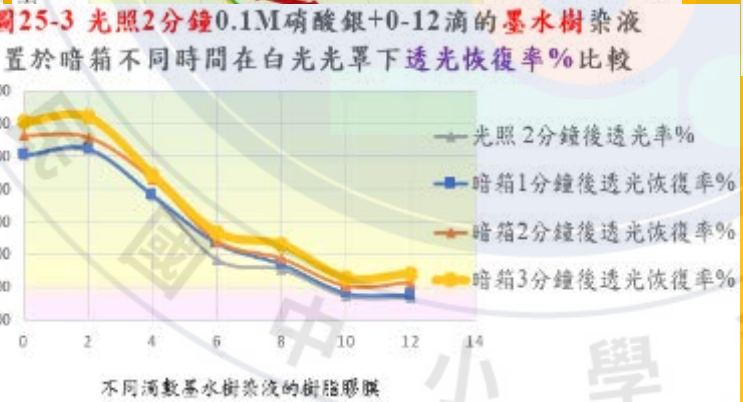
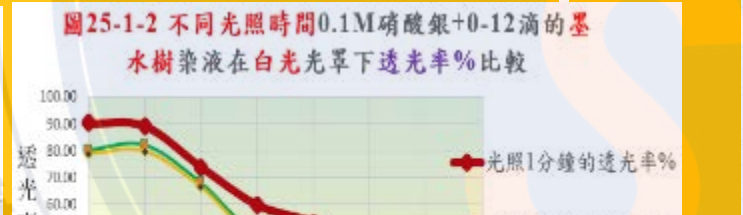
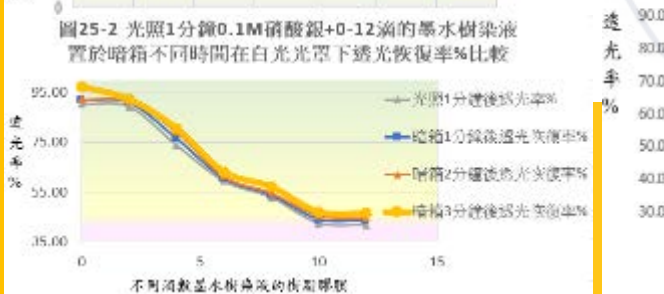
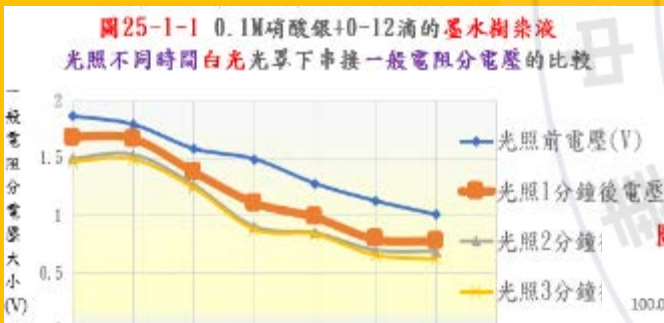
結果與討論 - AgNO_3 + 墨水樹 變色凝膠膜透光率及HSV值比較

實驗十、硝酸銀與墨水樹天然染液混合成樹脂凝膠膜在白光光罩下的透光率及透光恢復率比較

0.5 mL 0.1M AgNO_3 + 0~12滴的墨水樹染液白光下電壓及透光率%比較

加墨水樹滴數		0	2
光照時間(分)	電壓(V)		
0	A	1.863	1.790
1	B ₁	1.681	1.663
2	B ₂	1.494	1.528
3	B ₃	1.469	1.485

圖示		0		2	
光照1分鐘的透光率%		90.23	92.91		
光照2分鐘的透光率%		80.19	85.36		
光照3分鐘的透光率%		78.85	82.96		



結果與討論 - AgNO_3 + 紫膠蟲變色凝膠膜透光率及及HSV值比較

實驗十一、硝酸銀與紫膠蟲天然染液混合成樹脂凝膠膜在白光光罩下的透光率及透光恢復率比較

0.5 mL 0.1M AgNO_3 + 0~12滴的紫膠蟲染液白光下電壓及透光率%比較

加紫膠蟲滴數		0.5 mL 0.1M AgNO_3 + 0~12滴的紫膠蟲染液白光下電壓及透光率%比較							
光照時間(分)	電壓(V)	0	2	4	6	8	10	12	
0	A ₀	1.786	1.243	1.127	0.947	1.696	1.478	1.043	
1	B ₁	1.693	1.092	1.115	0.725	1.531	1.223	0.925	
2	B ₂	1.680	0.892	1.111	0.725	1.512	1.180	0.915	
3	B ₃	1.630	0.834	1.040					

圖示		0.5 mL 0.1M AgNO_3 + 0~12滴的紫膠蟲染液白光下電壓及透光率%比較							
光照1分鐘的透光率%		94.79	87.85	98.94					
光照2分鐘的透光率%		94.06	71.76	98.58					
光照3分鐘的透光率%		91.27	67.10	92.28					



圖28-6-2 不同光照時間 0.1M AgNO_3 + 0~12滴的紫膠蟲染液混合樹脂膠膜的飽和度S%比較



圖28-4 光照3分鐘 0.1M AgNO_3 + 0~12滴的紫膠蟲染液置於暗箱不同時間在白光光罩下透光恢復率%比較

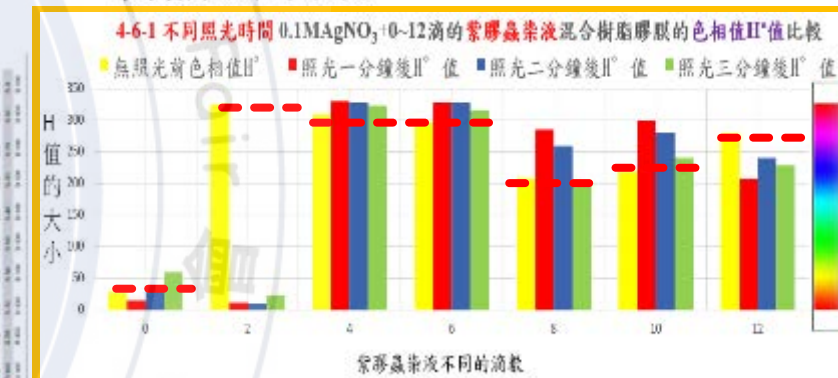
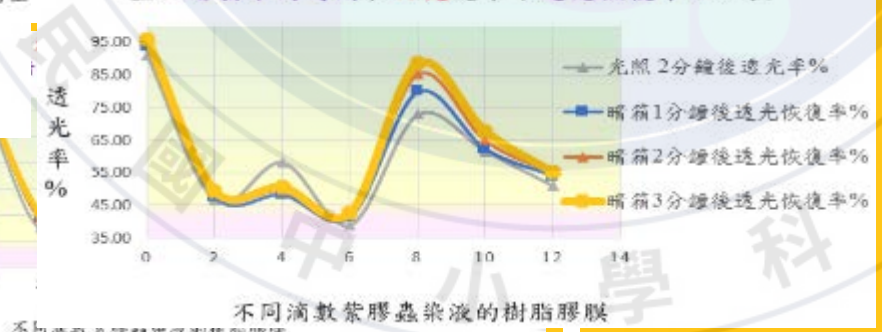


圖28-6-3 不同光照時間 0.1M AgNO_3 + 0~12滴的紫膠蟲染液混合樹脂膠膜的明度V%值比較

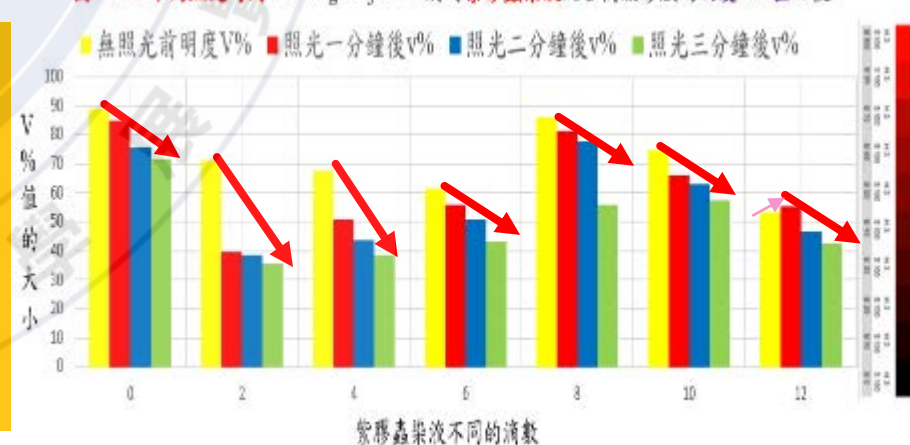
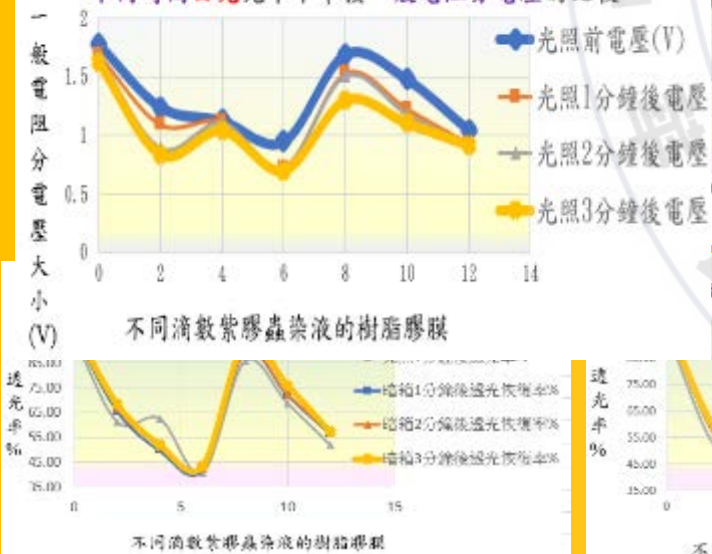


圖28-1-1 0.1M AgNO_3 + 0~12滴的紫膠蟲染液光照不同時間白光光罩下串接一般電阻分電壓的比較



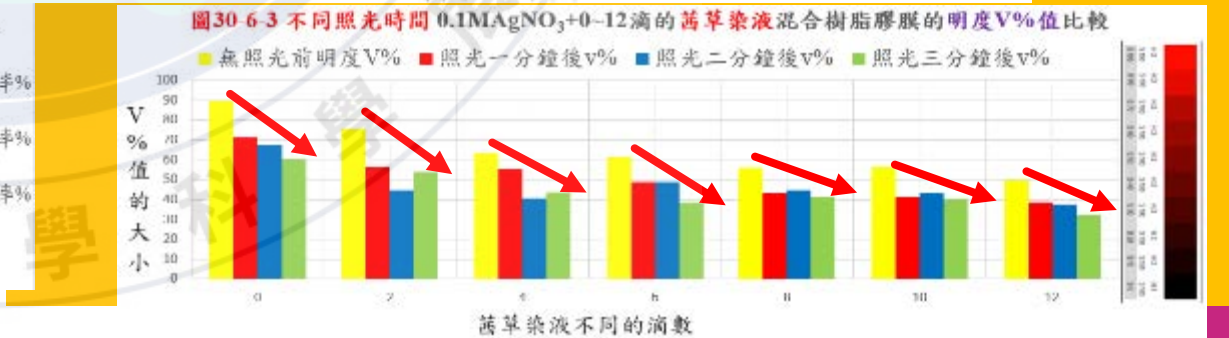
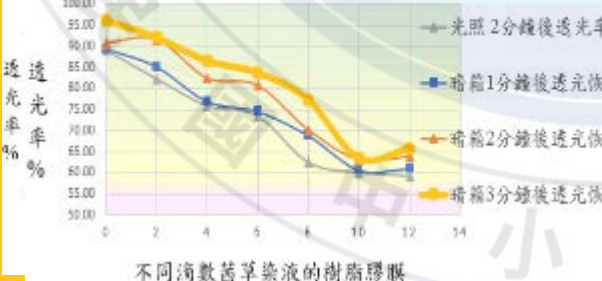
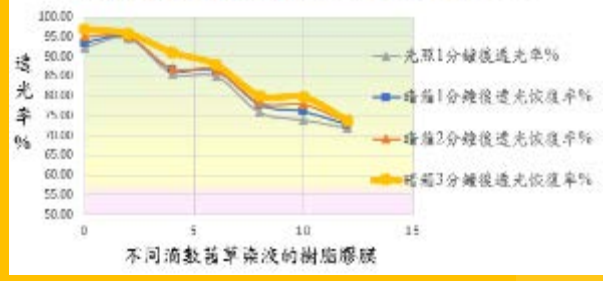
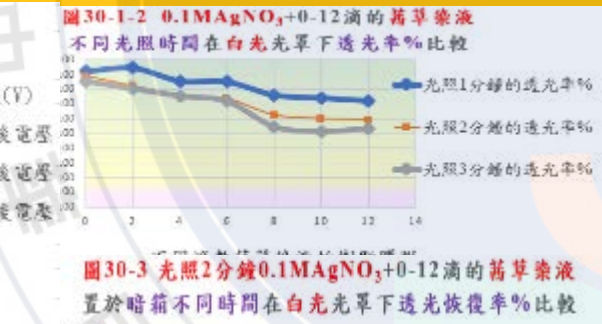
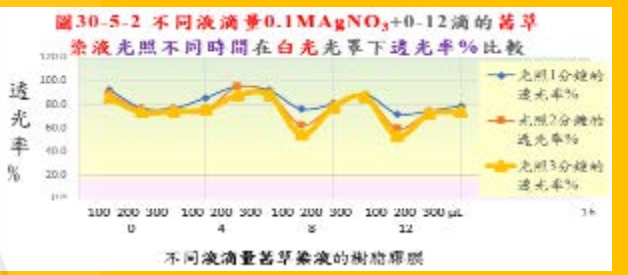
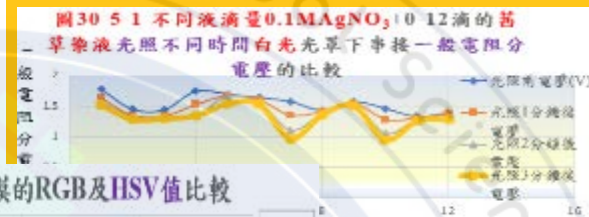
結果與討論 - $AgNO_3$ + 茜草變色凝膠膜透光率及HSV值比較

實驗十二、硝酸銀與茜草天然染液混合成樹脂凝膠膜在白光光罩下的透光率及透光恢復率比較

0.5 mL 0.1M $AgNO_3$ +0-12滴的茜草染液白光下電壓及透光率%比較

加茜草滴數		0	2
光照時間(分)	電壓(V)		
0	A	1.778	1.792
1	B ₁	1.640	1.682
2	B ₂	1.583	1.462
3	B ₃	1.519	1.432

圖示		光照1分鐘的透光率%	
光照時間(分)	電壓(V)	0	2
0	A	92.24	93.86
1	B ₁	89.03	81.58
2	B ₂	85.43	79.91



結論

1. 銀離子與墨水樹天然染劑的還原性實驗中發現，照光後能在Dino-Lite數位顯微鏡頭下照出黑點，由此證明墨水樹染液照光的確能將電子躍遷至銀離子使其還原。(光照染敏銀離子無所遁形)
2. 在控制變因完全相同的條件下，Dino-Lite觀察0.1M AgNO_3 比0.1M CuSO_4 加墨水樹照光1分鐘產生的金屬還原性顆粒還要多！驗證了：雖然金屬原子活性： $\text{Cu} > \text{Ag}$ ，但是，離子活性： $\text{Ag}^+ > \text{Cu}^{2+}$ 的結果。也就是說：兩種離子遇墨水樹染料分子敏化(染料上的電子因照UV光而產生電子躍遷至金屬離子上的現象)的速率不同。
3. 染液足量下，銀離子濃度愈高，敏化還原產生金屬的顆粒愈多，照光時間變長，結果則更明顯。
4. 我們發現保麗龍膠以酒精當溶劑，稀釋硝酸銀、墨水樹、氯化銅等也應以酒精當溶劑為佳，實驗可顯現具有一致性透明的有色薄層，但會有微小氣泡(液相蒸發形成小氣室)的現象產生。若為水相則易與保麗龍膠產生白色的乳化現象，透明度變差。
5. 在快速攪拌硝酸銀與墨水樹染劑時發現，在室內的日光燈照射下，居然就色變了，所以，為了避免受到日光燈下看不見的紫外線照射影響實驗結果，剛製備好的變色膜均應置於抽氣暗箱中乾燥。
6. 黏膠與溶劑比例為4:1，對白膠而言恰好；對保龍膠來說，應該可以再提高溶劑比例，但是對膠水黏膠而言，就太稀了！比較各凝膠膜乾燥後的可撕開的完整性：保龍膠膜>白膠膜>>膠水膜。
7. 含硝酸銀及墨水樹的黏膠，隨著加入的氯化銅滴數變多，咖啡色的凝膠會產生色變(淺紫及外淺紫內藍綠偏綠系列)，反覆操作多次結果均為如此，用保麗龍膠及酒精溶劑製凝膠的色變結果更是明顯。
8. 硝酸銀與染液形成的凝膠膜在白光燈條的光罩下，染液滴數愈多、色愈深，光敏電阻下降率減少，與之串接一般電阻的分電壓值變小，透光率下降【透光率= $B/A_0 \times 100\%$ 】。照光時間長或層數愈多，透光率下降會更明顯。
9. 我們發現，硝酸銀凝膠液加氯化銅的滴數變多，凝膠膜照光的透光率卻增加，我們推測可能是競爭的電子轉移現象： $(\text{藍色})\text{Cu}^{2+} + e^- \rightarrow \text{Cu}^+(\text{綠色})$ ，或活潑 Cl_2 氯分子(黃綠色)產生，與奈米銀產生逆反應的電子轉移現象值得以後再繼續探究。
10. 我們以Gy33感測器記錄變色膜的RGB值，轉由變色膜的色相值可確切得知光變色薄膜顏色變化的程度，以此製成可黏貼在眼鏡上的塑膠薄膜如右圖，讓未來製作整張汽車玻璃或窗戶玻璃上，達到光穿透率變低，光不刺眼、防曬，使車內或室內溫度下降，達到節能減碳的結果成為可能。



參考資料

1. 自然第三冊第2-2水溶液-飽和溶液與溶解度 康軒文教事業
2. 自然第四冊第一章 氧化還原反應的應用 康軒文教事業
3. 自然第五冊第四章 基本電路 康軒文教事業
4. 嚴鴻仁 徐善慧 中興大學化學工程學系科學發展2008年11月，431期
5. 楓葉變紅了-天然色素的顏色化學《科學發展》2004年9月，381期，54~59頁

6. 科技大觀園 <https://scitechvista.nat.gov.tw/Article/Co00003/detail?ID=bbo44563-fa8b-45b3-a620-abcageb2f21393/09/08> 蔡尚恬 中興大學昆蟲學系 蔡振章 高雄大學應用化學
7. 歷屆科展作品(1)郭珈妤等(2021) 中華民國第61屆中小學科學展覽會，臺中市(2)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
8. 網站資料(1) <https://zh.wikipedia.org/wiki/蘇木精等> (2) RGB到HSV (或HSB) 顏色代碼轉換器和轉換公式。SHV (SHB, 飽和度S/色度H/亮度B) <https://www.rapidtables.org/zh-TW/convert/color/rgb-to-hsv.html>