

中華民國第 52 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高職組 化工、衛工及環工科

第一名

091101

發電吧！太陽能彩「漆」

學校名稱：國立嘉義高級工業職業學校

作者： 職二 李明柔 職二 黃育姿 職二 葉駿宥	指導老師： 林碩彥 張敦程
---	-----------------------------

關鍵詞：太陽能電池、光敏染料、奈米銀

得獎感言

團聚科學的饗宴

我們是一組三個臭皮匠團隊，因為我們有著共同的信念，在科學的奧妙中，我們經歷了一年的醞釀，經過無數練習、精益求精，希望能在生命中創造無限的可能，我們以環保、便利、簡單、概論來構成我們的研究動



第 52 屆全國科展展覽會場開幕式之合影

機，在實驗的過程中我們也嚐試各種不同的方式來提高我們的轉換率，雖然處處碰到頻頸，但因為團隊的合作與相互鼓勵，都克服了，很高興這次參賽可以得到評審的肯定，這也感謝學校給我們一個最厚實的靠山，還有著最專業的指導老師、同學、導師相挺，這種種的一切是構成我們邁向科展成功的要素，我們也會繼續努力，燃燒對科展的熱愛，不斷研究出新的產品活用於生活中，帶給人類心希望，此次科展最大收穫是懂得堅持、努力、永不放棄和團隊的合作，這是我們永生難忘的精彩，我們將把這份榮耀分享給大家，因為這是大家一起努力得來的。

從地區賽到全國賽，我們一再精進自己的實力，深怕自己能力不足無法在更一層樓。在全國賽中，看見了全台灣各個地方的科學菁英，互相學習觀摩下，對自己的作品未來發展有更高的期望，我們也相信之後還會再更好。



榮獲化工、環工與衛工第一名，開心至極！

最後，再次感謝我們的家人、化工科的所有老師、一直以來無怨無悔為我們付出的導師、楊傑涵學長，以及所有化三乙的同學，因為您們，才會有現在的成就。

摘要

本實驗為製備「第三代光敏染料太陽能電池」之最佳化，並研究出「奈米級光敏染料太陽能漆」。比較七種花青素染料對於太陽能漆之影響，加入同樣具有光電效應的不同形狀奈米銀粒子，藉由照射各種光源與改變照射時間的長短，測定其電壓、電流並計算其轉換率。研究所得到的「奈米級光敏染料太陽能漆」，比較其正、負極條件不同之影響，所得到的實驗轉換率可高達 $1.43 \times 10^{-2}\%$ 。

壹、研究動機

我們希望能夠製備可大面積塗佈的奈米級光敏染料太陽能漆，期許能對環境最友善的方式，創造高品質又無污染的環境。

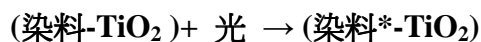
貳、研究目的

- 一、利用不同濃度的硝酸銀製備奈米銀粒子，並利用UV/VIS光譜儀得知奈米銀製備之最佳條件。再用穿透式電子顯微鏡(TEM)圖之比較，觀察不同濃度奈米銀粒子的狀態。
- 二、找出最佳光敏染料太陽能漆的製備方法。
- 三、加入不同形狀的奈米銀於太陽能漆中，計算出其轉換率，並做比較。
- 四、分析不同含有花青素之染料加入太陽能漆中的影響。
- 五、比較不同波長光源照射之下的影響。
- 六、製作出白色的太陽能漆，並比較正負極分別加入磨碎 ITO 導電玻璃或奈米銀的影響。

參、研究原理

(一) 奈米級 TiO_2 ：

奈米結構之 TiO_2 電極層，在具有多孔的特性提高了其表面積層，因此和單層的 TiO_2 電極層相較之下，大大的增加了帶有花青素之染料的吸附量。依先前的研究指出，當吸附在上面的染料被光激發後，電子將由原先之基態躍遷至激發態。這種狀態下的電子能階超過 TiO_2 傳導帶的能階，所以電子就由染料上注入至 TiO_2 的傳導帶，並由外部電路向外導出：



至於向外導出的電子流到陰極時，便會和電解液中的碘離子於此產生還原反應而形成碘離子。已變成氧化態的染料分子，會與電解液中的碘離子產生還原反應回到原本基態的分子。

這樣一來太陽能電池就會形成一個循環的通路，永遠不會中斷，整個光敏染料電池也可重複的再運作。此種電池有別於利用光伏效應所製得的固態物理式舊型矽太陽能電池，而在最大的不同點上就是二氧化鈦光敏染料太陽能電池是使用奈米級的 TiO_2 使得吸附的光敏劑大幅的增加。

(二) ITO 導電玻璃：

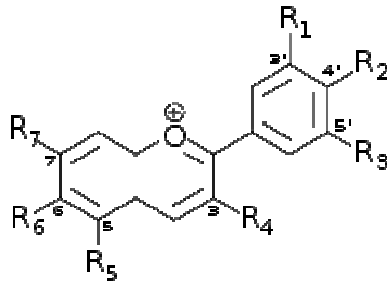
這種玻璃是基礎零件之一稱為液晶顯示器。普通的玻璃是無法導電的,稱之為母玻璃在此鍍上可導電的氧化銦錫 (indium tin oxide, ITO) 因此形成電極。

(三) 染料：

是一種有顏色的物質,但有顏色的物質並不一定全是染料。要取之作爲染料,必須能夠使一定顏色附著在纖維上。且不易脫落、變色。染料通常溶於水中,一部份的染料需要媒染劑使染料能黏著於纖維上。

(四) 花青素

1. 結構式：



2. 介紹：

花青素又名花色素 (Anthocyanidin) 爲一水溶性的植物色素,也是酚類的類黃酮類,花色素存在於液泡內的細胞液中,由類黃酮和苯基丙酸所組成。花色素是一種天然的抗氧化劑,其與糖類物質以糖苷鍵結合之後即爲花色苷,與花的顏色、葉變紅等有關,可於人體內補捉自由基。

3. 特色：

- (1) 花色素的顏色隨酸鹼值而從紅色到紫色再到藍色。
- (2) 花色素可用於試紙。
- (3) 它與光合作用完關係但可吸收光能。
- (4) 花青素是類黃酮的衍生物。
- (5) 影響花青素穩定性之因素有溫度、PH 值、醣類、光線、氧氣、維生素 C 和此結構。
- (6) 常連接於花青素之單醣有半乳糖、阿拉伯糖、葡萄糖。

(五) 各光的波長：

1. 紫外光：頻率約 7.5×10^{14} Hz ~ 10^{18} Hz, 波長約 10^{-7} m ~ 10^{-8} m
2. 太陽光：頻率約 4×10^{14} Hz ~ 7.5×10^{14} Hz, 波長約 4×10^{-7} m ~ 10^{-7} m
3. 日光燈：頻率約 50 Hz ~ 60 Hz, 波長約 2.537×10^{-7} m
4. 黃光：頻率約 5.03×10^{14} Hz ~ 5.2×10^{14} Hz, 波長約 5.6×10^{-7} m ~ 6×10^{-7} m
5. 鹵素燈：頻率約 35 Hz ~ 70 Hz, 波長約 3.15×10^{-7} m ~ 7.50×10^{-7} m

(六) 奈米銀：

奈米是一種長度單位， $1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$ ，當銀粒子縮小到奈米大小時，可以提升其物理性質與化學性質。因為奈米化改變了粒子表面積，所以其粒子間具有很強的凡得瓦爾力容易使粒子凝聚。為了不要有此現象發生，需使用隱蔽劑來幫助奈米銀。

(七) 太陽能光敏染料電池之轉換率(**Energy Conversion Efficiency**)：

$$\frac{P_m}{P_{in}} \times 100\% = \frac{I_m V_m}{P_{in}} \times 100\%$$

P_m ：輸出功率 P_{in} ：輸入功率

I_m ：最大電流 V_m ：最大電壓

肆、研究設備器材

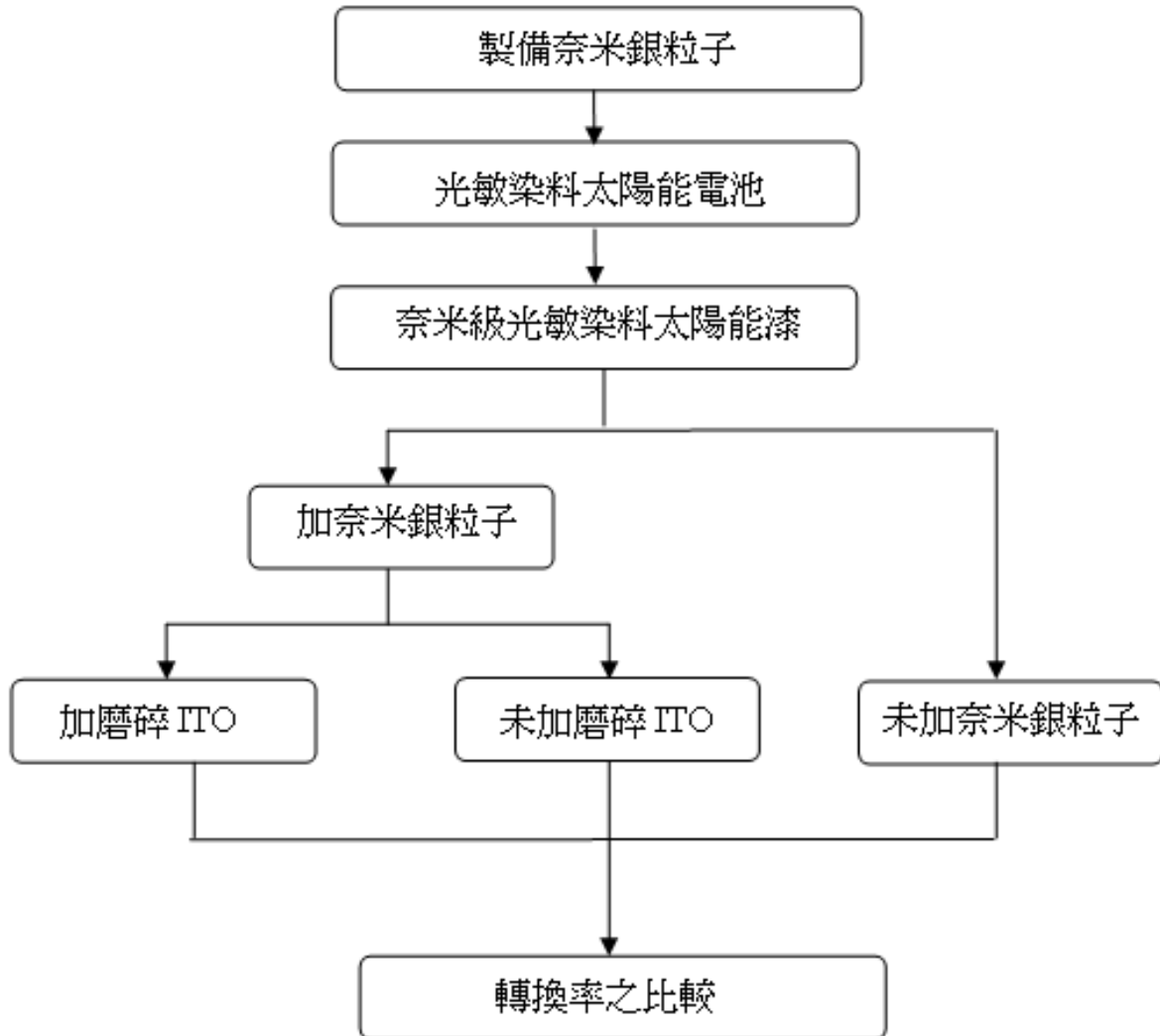
表 1 器材及規格

器材	規格與數量
精密天平	1 台
安全吸球	2 個
量筒	10mL
燒杯	100mL、250mL、500mL
定量瓶	100mL、200mL
試管	5 支
研磨杵鉢	2 個
吸量管	5 支
三用電表	2 台
加熱板	1 台
ITO 導電玻璃	5x5cm 20 片
光譜儀	1 台

表 2 樣品及試劑

冰醋酸	草莓
奈米級二氧化鈦粉末	藍莓
洗碗精	甜菜根
碘化鉀電解液	桑葚
碳粉	玫瑰花
葡萄	茄子

伍、研究過程與方法



【實驗一】製備光敏染料太陽能電池

(一) 實驗步驟

1. 奈米級 TiO_2 。	2. 加入稀釋後的冰醋酸。
 <p>圖 1</p>	 <p>圖 2</p>
3. 加入適量黃色奈米銀。	4. 最後加入介面活性劑（洗碗精）使之黏稠。
 <p>圖 3</p>	 <p>圖 4</p>
5. 攪拌均勻。	6. ITO 導電玻璃的導電面朝上。
 <p>圖 5</p>	 <p>圖 6</p>

7.將導電玻璃兩邊各取一公分，用膠帶固定於紙上，再用玻棒來回將步驟 1~5 的試樣均勻塗抹在玻璃上。



圖 7

8.將做好的步驟 7 泡於具有花青素的染料中，靜置 30 分鐘。

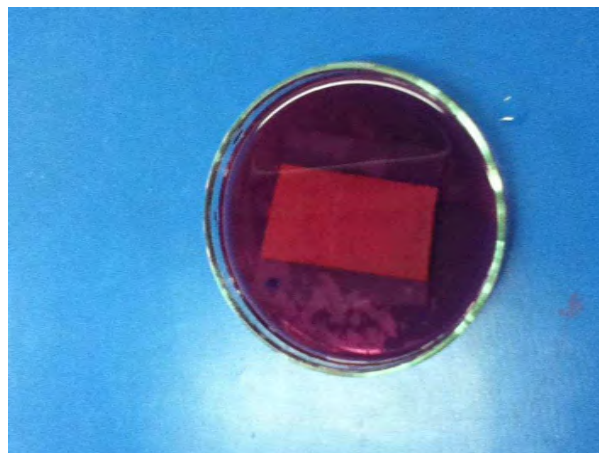


圖 8

9.將導電玻璃兩邊各取一公分，用膠帶固定於紙上，將碳粉均勻塗抹於另一片玻璃。



圖 9

10.將步驟 8 和步驟 9 兩片玻璃上下各留一公分，再把兩片玻璃合起來。

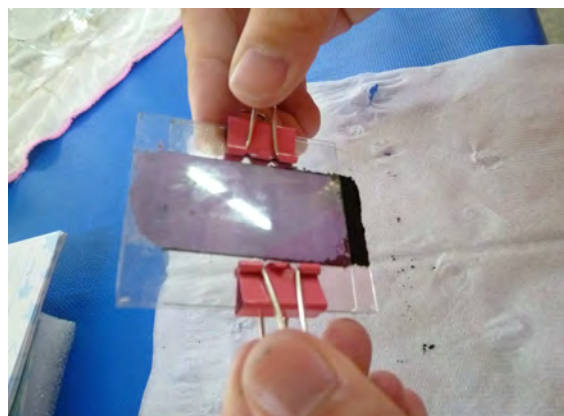


圖 10

11.在兩端各留一公分處都接上銅片。



圖 11

12.最後由縫隙加入電解液，再做封裝動作。

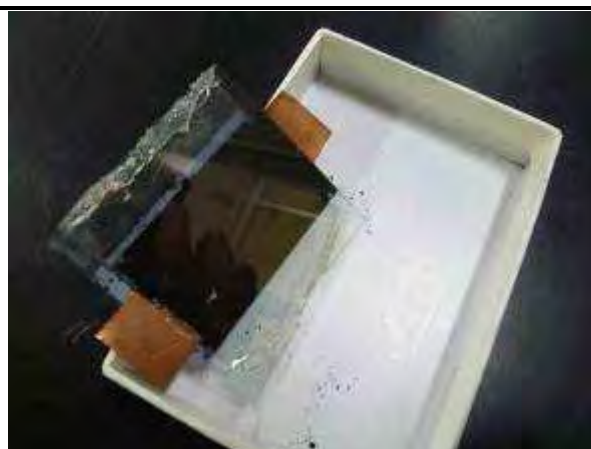










圖 12

【實驗二】製備奈米級光敏染料太陽能漆

(一) 實驗步驟

1.將碳粉塗在 5×5 的塑膠板上。	2. 加入奈米級 TiO_2 + 稀釋後醋酸 + 界面活性劑於鉢中。
 圖 13	 圖 14
3.加入適量碳粉。	4. 加入適量黃色奈米銀。
 圖 15	 圖 16
5.加入玫瑰當染料。	6.攪拌均勻。
 圖 17	 圖 18
7.將上述配製好的奈米級 TiO_2 (負極)塗上 5×5。	8. 成品。
 圖 19	 圖 20

【實驗三】製備奈米銀之最佳條件

(一) 配製

1. 固定檸檬酸鈉 $2 \times 10^{-3} \text{M}$ 1mL，倒入 5 支試管之中。
2. 硝酸銀濃度為 10^{-1}M 、 10^{-2}M 、 10^{-3}M 、 10^{-4}M 、 10^{-5} 各 1mL 分別倒入試管中。
3. 氫硼化鈉皆為 $2 \times 10^{-3} \text{M}$ 5mL，倒入 5 支試管之中。
4. 試樣加入蒸餾水定量至 100mL，倒入燒杯後放置磁石攪拌器上以定速度攪拌加熱。
5. 將試樣照紫外光光譜儀，觀察哪一濃度的硝酸銀為最佳條件。

表 3 不同濃度奈米銀的製備

	硝酸銀(M)	檸檬酸鈉(M)	氫硼化鈉(M)
試樣 1	10^{-1}	2×10^{-3}	2×10^{-3}
試樣 2	10^{-2}	2×10^{-3}	2×10^{-3}
試樣 3	10^{-3}	2×10^{-3}	2×10^{-3}
試樣 4	10^{-4}	2×10^{-3}	2×10^{-3}
試樣 5	10^{-5}	2×10^{-3}	2×10^{-3}

(二) UV/VIS 光譜：

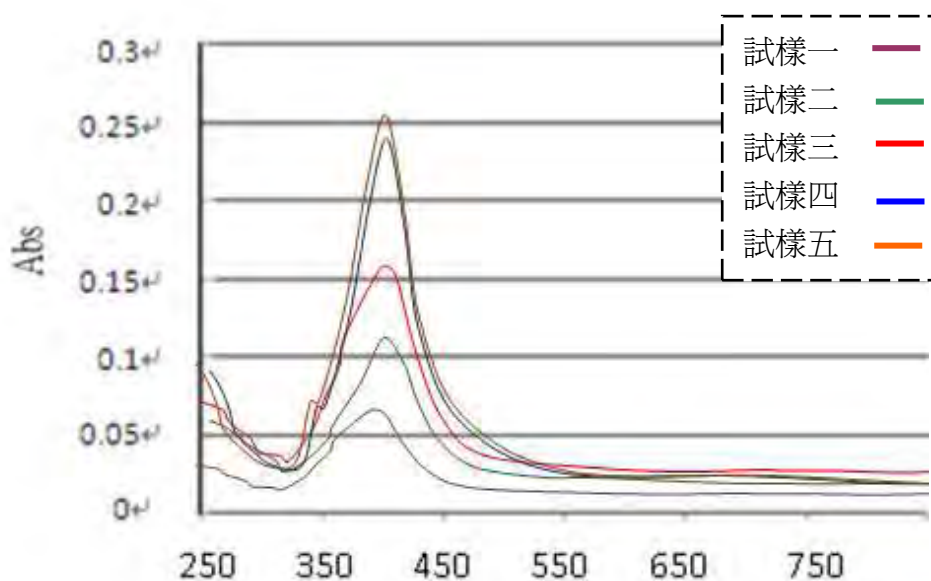


圖 21

(三) 研究討論：

將上表試樣 1 至試樣 5，照射紫外光光譜儀，所得到的資料顯示，試樣三的光譜圖在 390 nm 有一個很高的波峰，可推知濃度為 10^{-3}M 奈米銀的銀粒子為最佳條件。

(四)穿透式電子顯微鏡(TEM)圖：

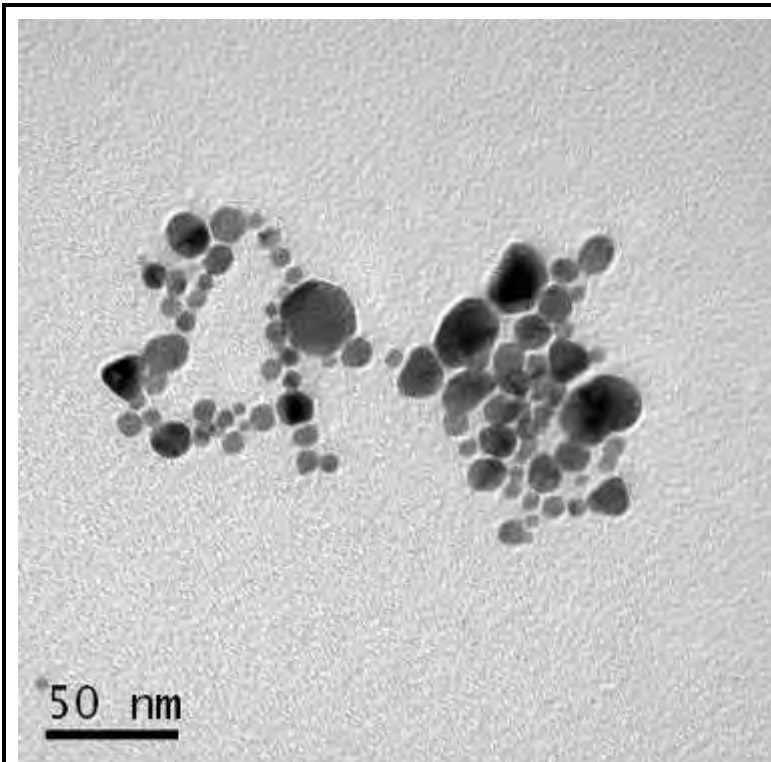


圖 22

1.條件：

(1.)電壓(伏特數)：100kV

(2.)1344×1336 pixels

(3.)倍率：×60000

2.討論：

此圖為試樣硝酸銀0.01M/1mL濃度較高，並加入0.01M/5mL檸檬酸鈉0.001M/1mL 氫硼化鈉(未照射UV光)的TEM圖。發現雖然加入了5mL的檸檬酸鈉當作隱蔽劑，但是硝酸銀濃度過高使檸檬酸鈉失去效力，因而產生團聚現象。

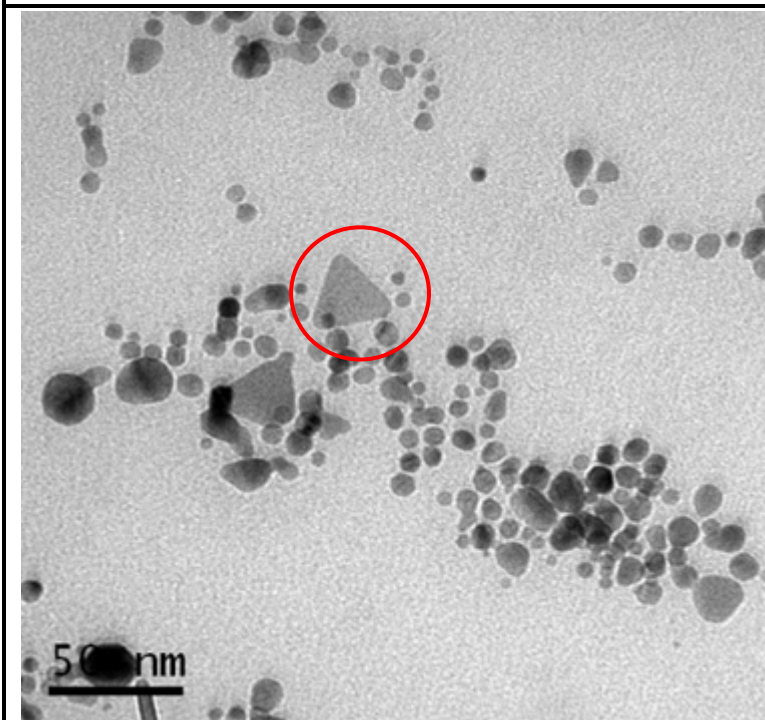


圖 23

1.條件：

(1.)電壓(伏特數)：100kV

(2.)1344×1336 pixels

(3.)倍率：×50000

2.討論：

此圖為硝酸銀0.001M/1mL +檸檬酸鈉0.001M/1mL +氫硼化鈉0.001M/5mL(未照射UV 光)的TEM 圖。圖中奈米銀顆粒較分散，表示低濃度的硝酸銀可讓隱蔽劑起作用，使其均勻分散在溶液當中。


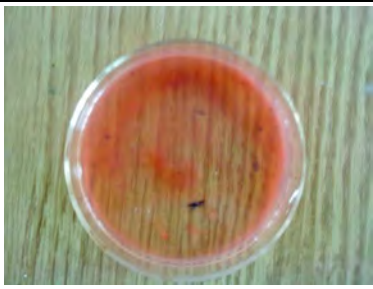



【實驗四】太陽能電池轉換率比較

(一) 花青素含量：

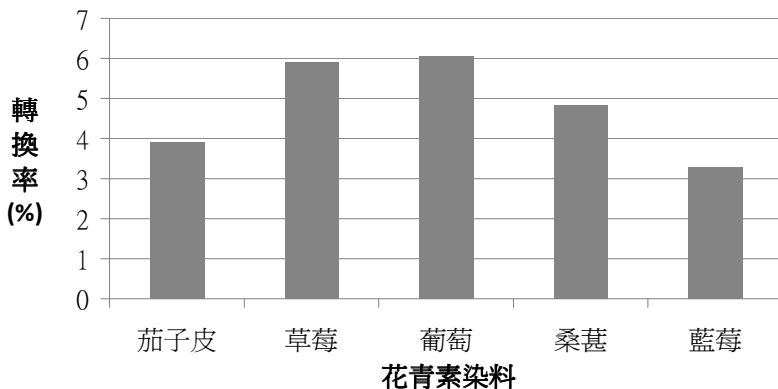
種類	花青素含量(毫克/100公克)
草莓	145
藍莓	331.9
茄子皮	30
葡萄籽、皮	92

(二) 實驗結果：

皆有加入少量奈米銀。

茄子皮	草莓	葡萄
		
圖24	圖25	圖26
電流：20.0mA 電壓：500mV	電流：14.8mA 電壓：550mV	電流：38.7mA 電壓：501mV
轉換率：3.90%	轉換率：5.90%	轉換率：6.06%
桑葚	藍莓	
		
圖27	圖28	
電流：22.5mA 電壓：422mV	電流：26.6mA 電壓：460mV	
轉換率：4.83%	轉換率：3.28%	

(三) 研究討論：



1. 由圖 28 可知轉換率：葡萄>草莓>桑葚>茄子皮>藍莓。
2. 藍莓花青素含量雖很高，但做出率的效果並不佳，發現可能是品種的問題。

圖 29 太陽能電池轉換率比較圖

【實驗五】太陽能漆最佳配製條件與加入不同形狀奈米銀之比較

(一) 製作過程：

將光敏染料太陽能電池以油漆取代，共分兩層。

第一層塗碳粉(+)

第二層加入奈米級 TiO_2 (-)、碳粉、花青素染料、奈米銀之混合漆。

如圖：

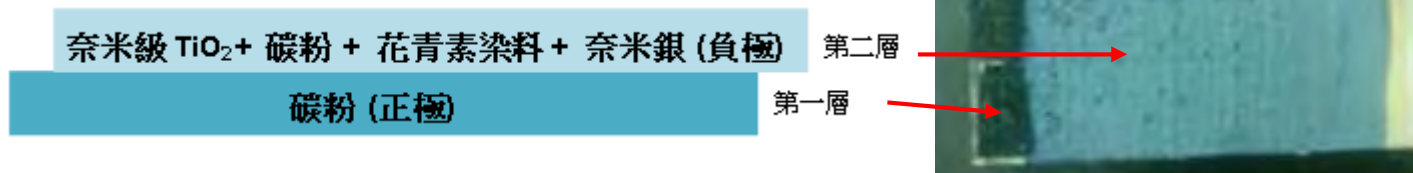


圖 30 太陽能漆示意圖

(二) 實驗結果：

表4 各種太陽能漆製備條件

	奈米級 TiO_2 (g)	碳粉(g)	葡萄 (mL)	奈米銀 (mL)	ITO 導電 玻璃	電流 (mA) (直流電)	電壓 (mV) (直流電)	轉換率 (%)
試樣 1	0.2137	0.5545	1.0	0.0		3.30	40	6.60×10^{-4}
試樣 2	0.2137	0.5545	1.0	0.5 (黃) (球形)		6.85	21	7.36×10^{-4}
試樣 3	0.2137	0.5545	1.0	0.5 (藍) (三角形)		2.90	49	7.10×10^{-4}
試樣 4	0.2137	0.5545	1.0	0.5 (綠) (橢圓形)		3.20	30	4.80×10^{-4}
試樣 5	0.4275	0.5545	1.0	0.5 (黃) (球形)		7.05	32	1.13×10^{-3}
試樣 6	0.4275	0.5545	1.0	0.5 (黃) (球形)	1 匙	7.00	36	1.26×10^{-3}

(三) 研究討論：

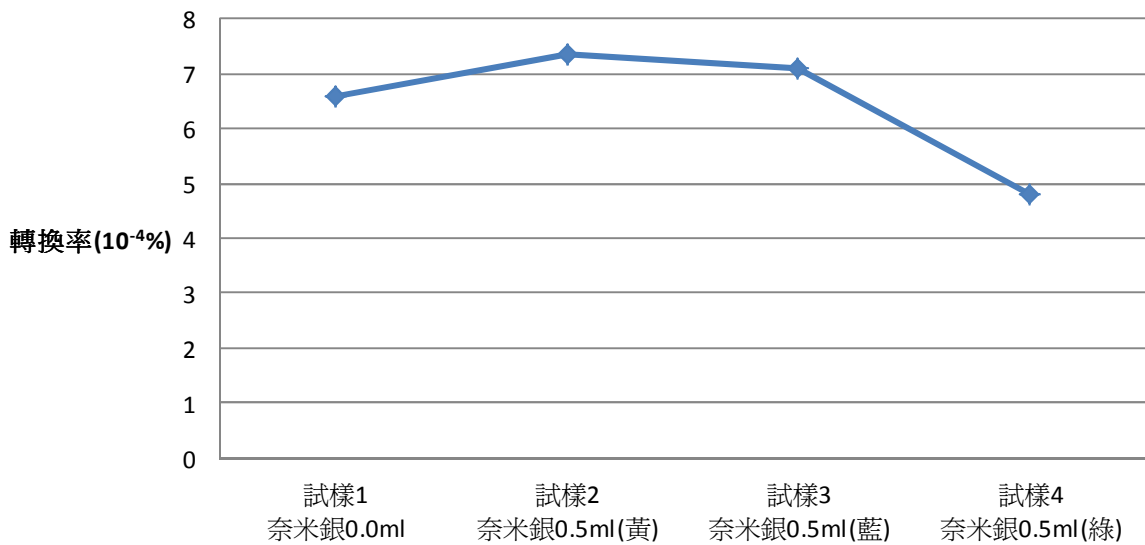


圖 31

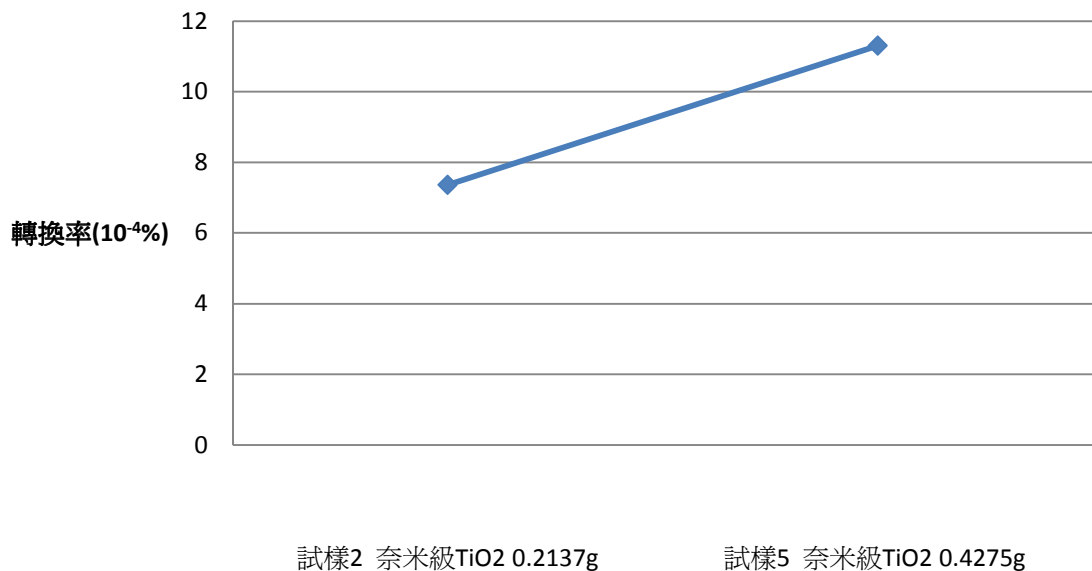


圖 32

1. 如圖31由試樣1、試樣2可知加入奈米銀後，轉換率可提升。
2. 如圖31試樣2(黃)(球形)、試樣3(藍)(三角形)、試樣4(綠)(橢圓形)，加入不同顏色奈米銀發現，試樣2(黃)效果較佳，且試樣2(黃)(球形) > 試樣3(藍)(三角形) > 試樣4(綠)(橢圓形)。
3. 由圖32得知，若奈米級 TiO₂加量，因光催化效果更加，而增加轉換率。
4. 試樣6比試樣5多加磨碎的 ITO 導電玻璃，此導電玻璃因表面具有銻錫氧化物，故可以導電，所以將導電玻璃磨碎後加入太陽能漆，或許可以提高轉換率，經實驗後證明確實能提高轉換率，但因玻璃分部不均，使電流與電壓不穩定，故僅有玻璃的地方特別高，為解決此問題所以將玻璃磨的極細並且集中於某一部分，固定測得某一部分電流與電壓，使找出電流與電壓之穩定值，求出轉換率。因不穩定的狀態下，後續的【實驗六】、【實驗七】、【實驗八】皆由試樣5做改變來製備。

【實驗六】加入奈米銀於太陽能漆中對轉換率之影響

(一)實驗結果：

由奈米級 TiO_2 0.4275g、碳粉 0.5545g、葡萄 1mL 來製備太陽能漆，紫外光照射 10 分，且奈米銀(黃色)(球形)的量為操作變因。

表 5 各種太陽能漆製備條件(奈米銀加量)

	奈米銀(mL)	電流(mA) (直流電)	電壓(mV) (直流電)	轉換率(%)
試樣 1	0.5	3.10	50	7.75×10^{-4}
試樣 2	1.0	4.05	45	9.11×10^{-4}
試樣 3	1.5	7.05	32	1.13×10^{-3}
試樣 4	2.0	6.45	50	1.61×10^{-3}
試樣 5	2.5	6.05	79	2.39×10^{-3}

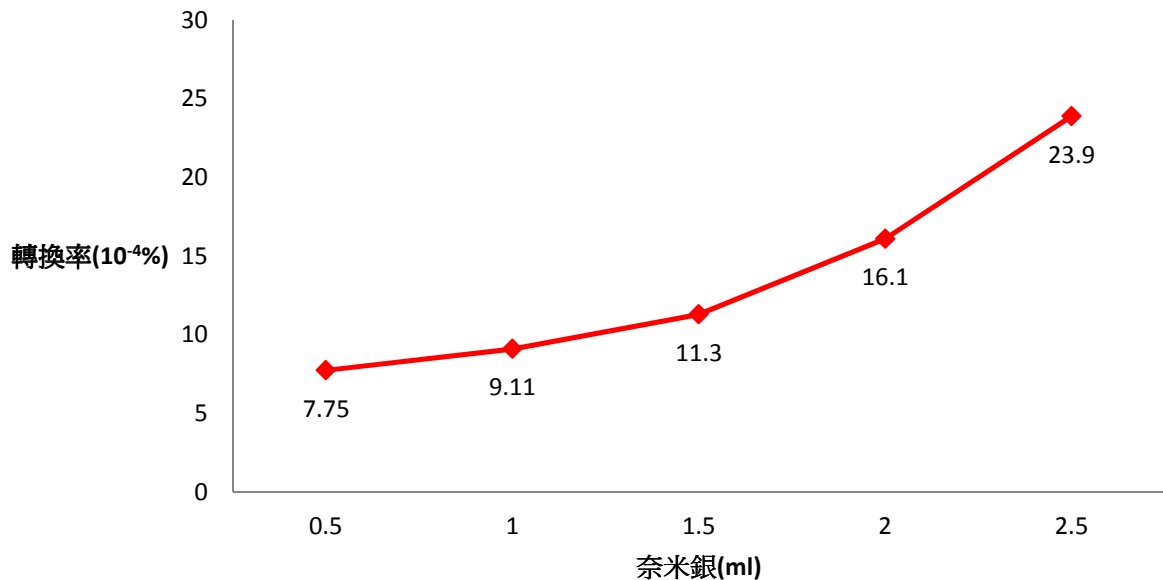


圖 33 奈米銀加量之轉換率圖

(二)研究討論：

1. 由上表發現轉換率的成長和奈米銀毫升數成正比，奈米銀的毫升數愈多，轉換率愈高。
2. 由實驗可知奈米銀加入太陽能漆中，穩定性佳又穩定成長。

【實驗七】不同花青素染料加入太陽能漆後之比較

(一) 種類

延續【實驗四】的染料，再多加入玫瑰、甜菜根。

表 6 花青素染料的種類

茄子皮	玫瑰
葡萄	草莓
藍莓	桑葚
甜菜根	





(二)花青素含量

表 7 各個染料的花青素含量

種類	花青素含量(毫克/100 公克)
草莓	145
藍莓	331.9
洋蔥	58
茄子皮	30
紅甜椒	160
紅石榴	169
葡萄籽、皮	92

(二)實驗結果：

以奈米級 TiO_2 0.4275g、碳粉 0.5545g、奈米銀(黃)(球形)2.5mL 來製備太陽能漆，以染料為操作變因，並照射紫外光。

<p style="text-align: center;">茄子皮</p>	<p style="text-align: center;">葡萄</p>
 <p style="text-align: center;">圖 34</p>	 <p style="text-align: center;">圖 35</p>
<p>電流：3.10mA(直流電) 電壓：53mV(直流電)</p>	<p>電流：6.05mA 電壓：79mV</p>
<p>轉換率：8.21×10⁻⁴%</p>	<p>轉換率：2.39×10⁻³%</p>
<p style="text-align: center;">藍莓</p>	<p style="text-align: center;">甜菜根</p>
 <p style="text-align: center;">圖 36</p>	 <p style="text-align: center;">圖 37</p>
<p>電流：4.20mA 電壓：33mV</p>	<p>電流：3.10mA 電壓：53mV</p>
<p>轉換率：6.93×10⁻⁴%</p>	<p>轉換率：2.51×10⁻⁴%</p>

玫瑰



圖 38

電流：8.05mA 電壓：95mV

轉換率： $3.82 \times 10^{-3}\%$

草莓



圖 39

電流：3.25mA 電壓：66mV

轉換率： $1.07 \times 10^{-3}\%$

桑葚



圖 40

電流：8.05mA 電壓：95mV

轉換率： $8.45 \times 10^{-4}\%$

(四)研究討論

以奈米級 TiO_2 0.4275g、碳粉 0.5545g、奈米銀(黃)(球形)2.5mL 來製備太陽能漆，以染料為操作變因，並照射紫外光。

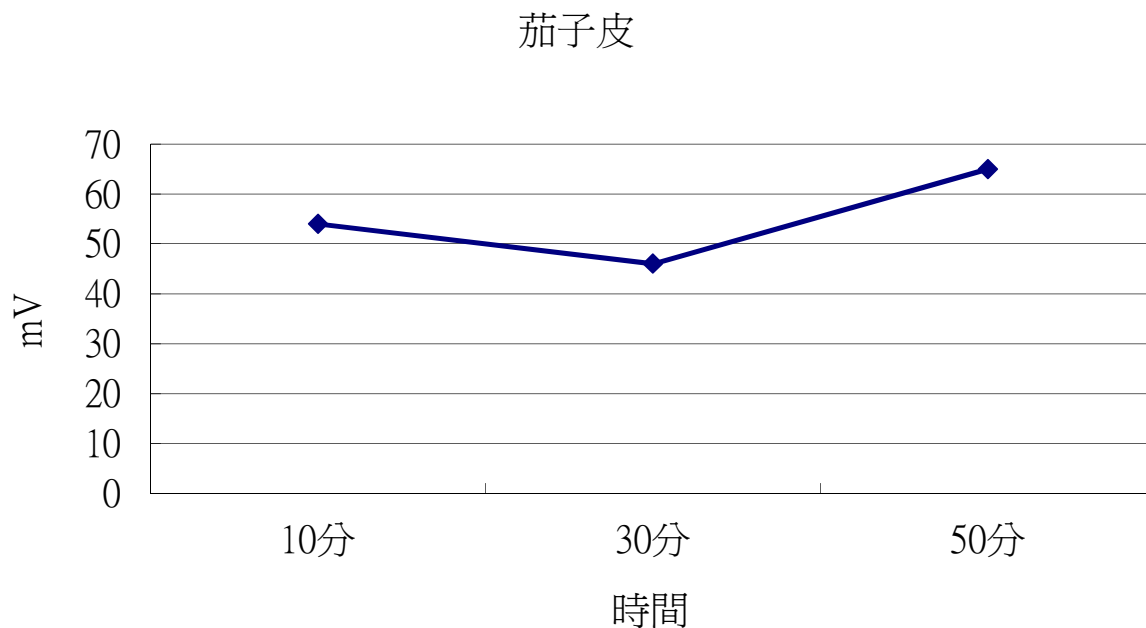


圖 41 紫外光照射茄子皮製太陽能漆

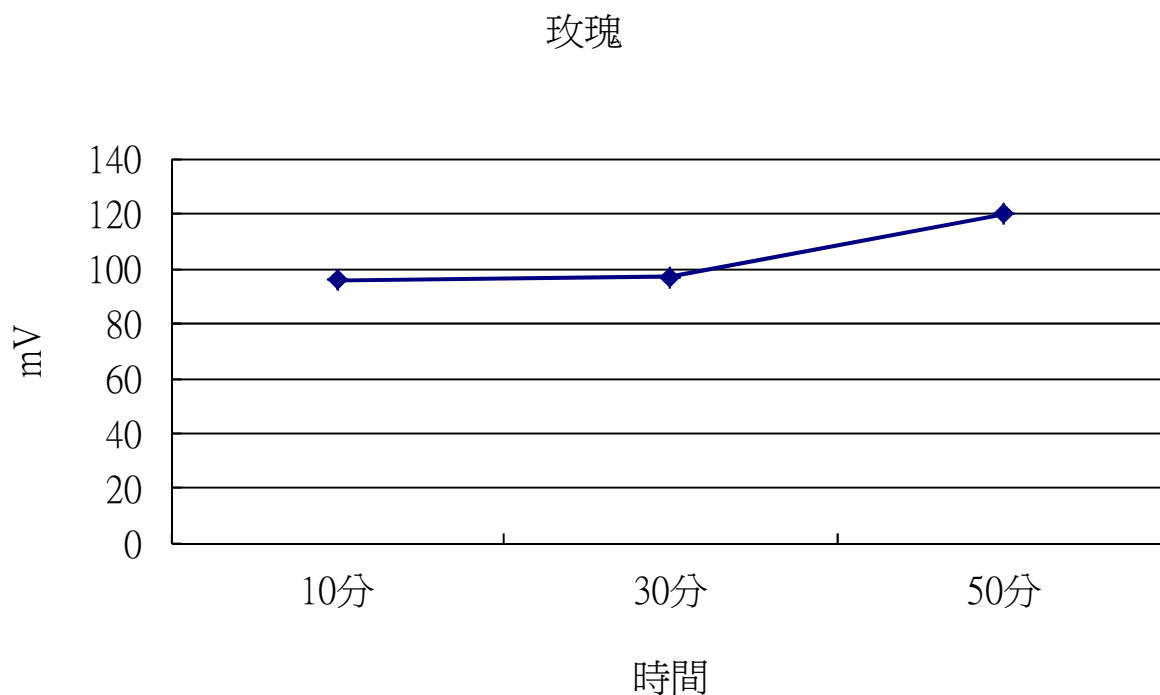


圖 42 紫外光照射玫瑰製太陽能漆

葡萄

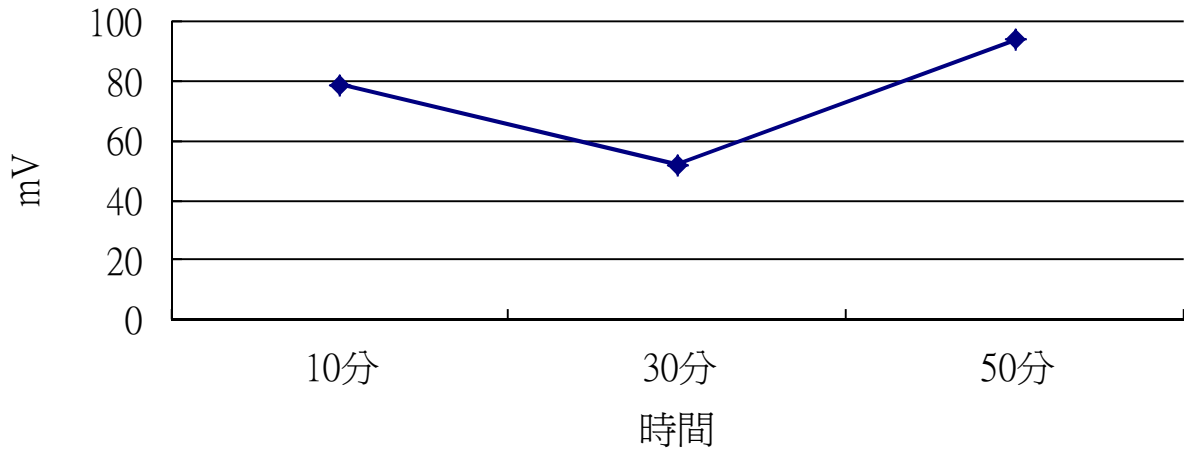


圖 43 紫外光照射葡萄製太陽能漆

草莓

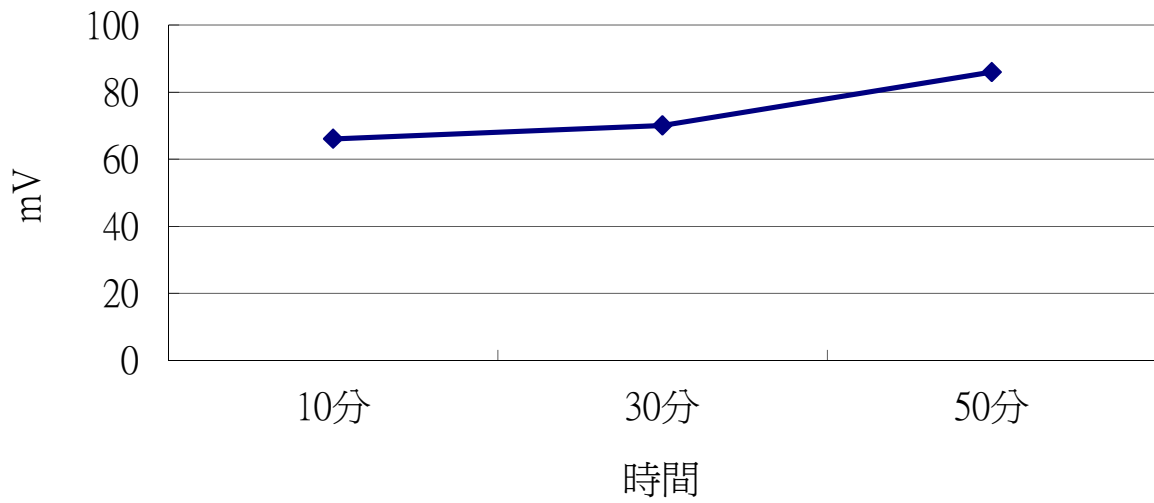


圖 44 紫外光照射草莓製太陽能漆

藍莓

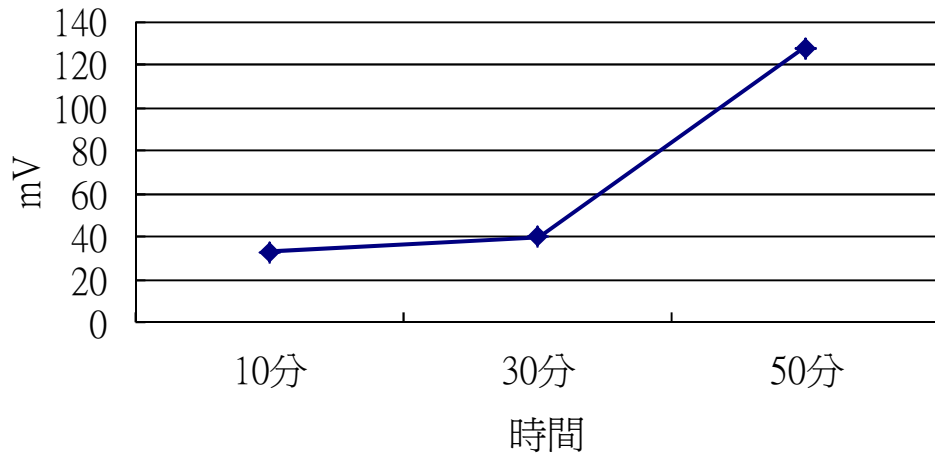


圖 45 紫外光照射藍莓製太陽能漆

桑葚

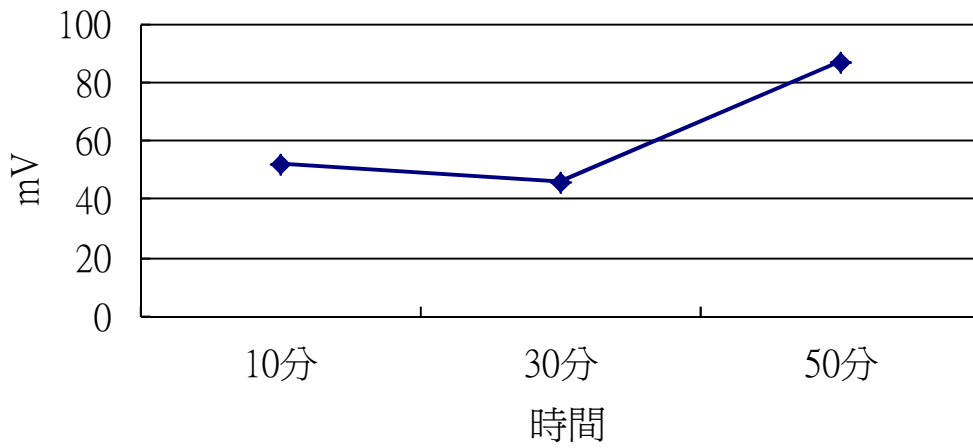


圖 46 紫外光照射桑葚製太陽能漆

甜菜根

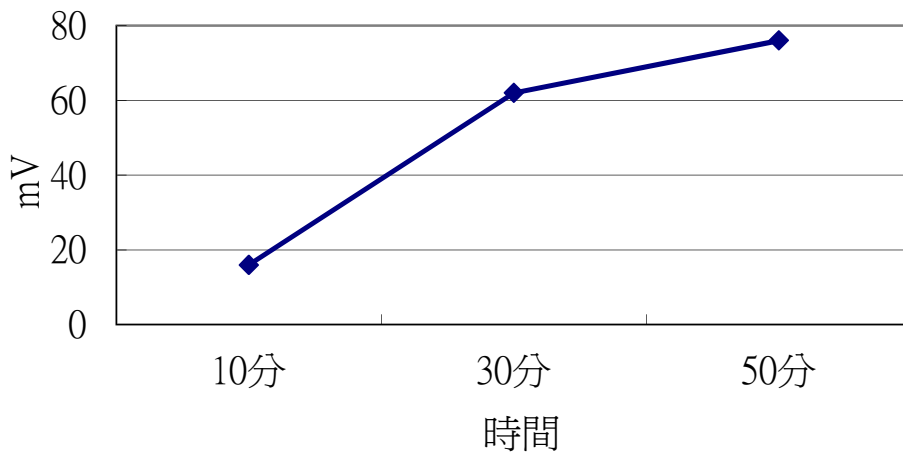


圖 47 紫外光照射甜菜根製太陽能漆

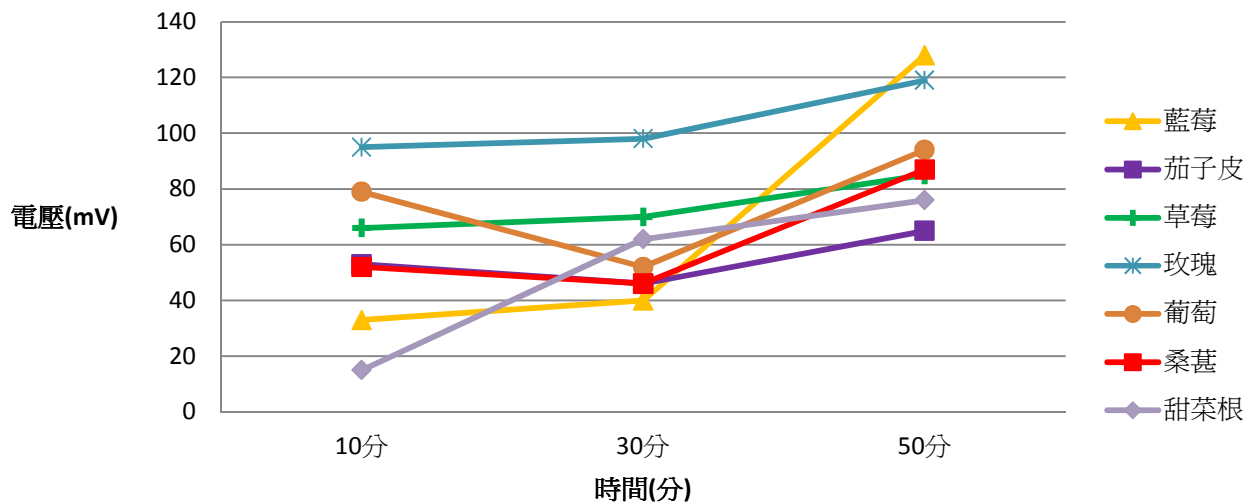


圖 48 七種染料製備太陽能漆不同時間下的電壓比較圖

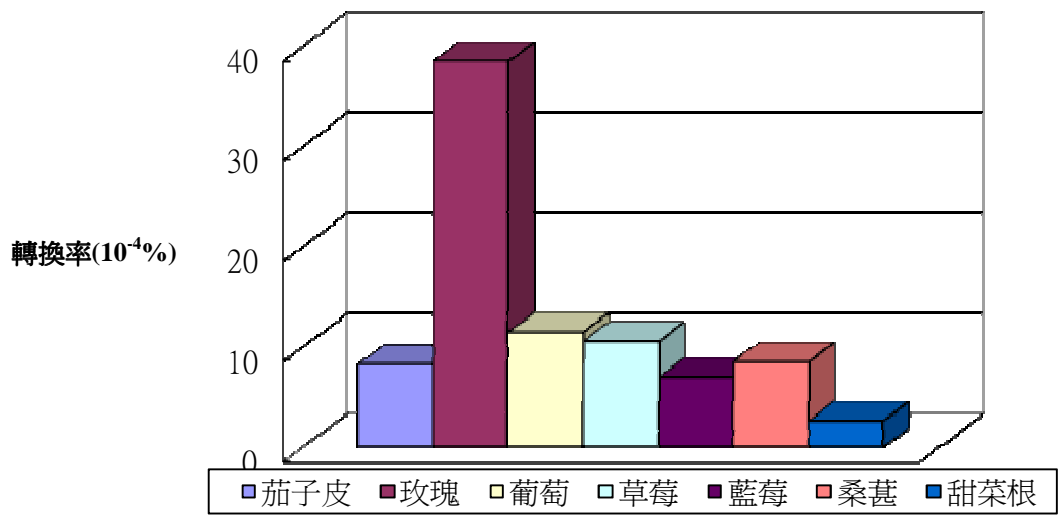


圖 49 各種染料製備太陽能漆轉換率比較圖

1. 與【實驗四】比較可知，無論是太陽能電池或太陽能漆，加入不同花青素染料，其轉換率排名大同小異。
2. 如圖 41、43、46，茄子皮、葡萄、桑葚在 30 分鐘的電壓有下降，是因為剛開始的電壓不穩定，之後的 50 分鐘都有上升。
3. 甜菜根的轉換率是七種染料中最低的，可是電壓從 15~76mV 有明顯的上升幅度。
4. 藍莓的花青素高，雖在 10 分鐘時看不出它的特性，轉換率偏低，但是照射 50 分鐘後的電壓最高。
5. 玫瑰則為所有染料中電壓穩定，且轉換率高。
6. 草莓的轉換率在七種染料中位居第三，但是電壓的成長幅度不大，不過還算穩定。

【實驗八】不同光源對太陽能漆之影響

(一)實驗結果：

以奈米級 TiO₂ 0.4275g、碳粉 0.5545g、玫瑰 1mL、奈米銀(黃)(球形)2.5mL 製備太陽能漆。

表 8 不同光源照射太陽能漆的數據

時間	光源 轉換率	太陽光	日光燈	紫外光	黃光	鹵素燈
10 分	電流(mA) (直流電)	0.00	2.86	0.00	1.13	3.00
	電壓(mV) (直流電)	10	10	50	12	80
	轉換率(%)	0.00	1.43×10^{-4}	0.00	6.78×10^{-5}	1.20×10^{-3}
30 分	電流(mA)	0.00	3.24	2.00	1.32	5.00
	電壓(mV)	20	44	128	16	70
	轉換率(%)	0.00	7.13×10^{-4}	1.28×10^{-3}	1.06×10^{-4}	1.75×10^{-3}
50 分	電流(mV)	6.00	4.00	2.00	2.46	5.00
	電壓(mV)	61	68	155	18	100
	轉換率(%)	1.83×10^{-3}	1.36×10^{-3}	1.55×10^{-3}	2.21×10^{-4}	2.50×10^{-3}
70 分	電流(mV)	10.00	4.30	6.00	3.0	6.00
	電壓(mV)	89	73	158	54	120
	轉換率(%)	4.45×10^{-3}	1.57×10^{-3}	4.74×10^{-3}	8.10×10^{-4}	3.60×10^{-3}
90 分	電流(mV)	12.00	4.10	14.00	4.0	10.00
	電壓(mV)	95	81	205	56	120
	轉換率(%)	5.70×10^{-3}	1.66×10^{-3}	1.43×10^{-2}	1.12×10^{-3}	6.00×10^{-3}

(二)研究討論：

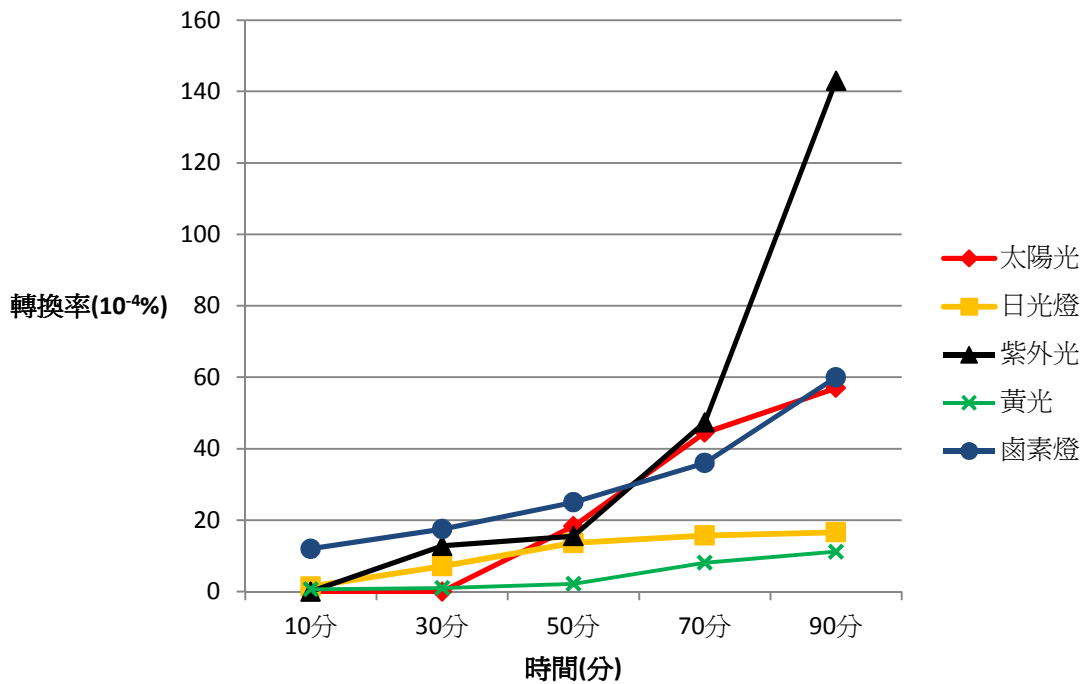


圖 50 不同光源照射太陽能漆轉換率成長圖

1. 利用五種不同的光源分別照射 10、30、50、70、90 分，無論是哪一種光源，照射時間越長轉換率越高。
2. 實驗過程中黃光從 10 分至 50 分時的數據較為平順，但在將至 70 分時，數據還是有些成長，我們推斷黃光因放熱多，需要常常加電解液，因此效果較不佳，有待改善。
3. 日光燈相較於黃光的轉換率較佳，從 10 分至 50 分有明顯的成長。
4. 太陽光比之前冬天做的實驗，轉換率更好，而在 30 分至 70 分時有快速的成長，推知雲層的厚度和天氣的因素會有影響。
5. 鹵素燈的轉換率和紫外光不相上下，而在一開始的轉換率也較其他我們所測試的光源要來得佳，70 分之後有明顯的成長。
6. 紫外光隨著照射的時間穩定成長，是五種光源中轉換率最高的。

【實驗九】白色太陽能漆

(一) 製作過程：

為使油漆變白，改變為碳粉(+)塗於第一層，
奈米級 TiO_2 (-)、少量花青素染料混合塗於第二層，
並加入磨碎 ITO 導電玻璃、奈米銀於(+)或(-)做比較。
如圖：



圖 51 白色太陽能漆示意圖

(二) 實驗結果：

以奈米級 TiO_2 1.2825g、碳粉 0.5545g、玫瑰少許、奈米銀(黃)(球形)2.5mL、紫外光照射 90 分鐘下製備。

表九 正負極加入 ITO 或奈米銀之比較表

	奈米級 TiO_2 (-)	碳粉 (+)	電流(μA) (直流電)	電壓(mV) (直流電)	轉換率(%)
試樣 1	/	奈米銀	1.1	170	9.35×10^{-7}
試樣 2		奈米銀	0.2	454	4.54×10^{-7}
試樣 3	/	ITO+奈米銀	0.7	106	3.71×10^{-7}
試樣 4		ITO	0.3	268	4.02×10^{-7}
試樣 5	ITO	奈米銀	6.1	100	3.05×10^{-6}
試樣 6	ITO	ITO+奈米銀	0.5	300	7.50×10^{-7}

(三) 研究討論：

1. 試樣 2 中的電壓明顯特別高，是因為 TiO_2 有光催化效果又加上奈米銀捕捉光電子，讓光能有效被吸收；相較之下，試樣 1 奈米銀加在碳粉上，效果較不佳。
2. 試樣 5、試樣 6 都於奈米級 TiO_2 上加 ITO、碳粉加奈米銀，但試樣 6 比試樣 5 在碳粉上多加 ITO，試樣 5 的轉換率較高，可知不見得正負極皆有 ITO 轉換率會高。
3. 試樣 3、試樣 5 皆在碳粉上加奈米銀，並分別在碳粉、奈米級 TiO_2 加 ITO，轉換率是試樣 5 比較高，ITO 加在負極效果較好。
4. 由試樣 2、試樣 4 發現，若都在奈米級 TiO_2 中加奈米銀，而試樣四在碳粉上加 ITO，轉換率還是試樣 2 較大，可知即使有奈米銀在 TiO_2 上，正極上有 ITO 效果還是不理想。
5. 從上表發現，如果第二層沒有加碳粉，油漆會變白，但因為奈米級 TiO_2 電阻太大，測出來的電流極小，轉換率變得非常小。

陸、結論

一、製備奈米銀粒子溶液

利用不同濃度的硝酸銀、檸檬酸鈉與氫硼化鈉製備奈米銀粒子。當使用0.001M 硝酸銀 1mL、0.001M 檸檬酸鈉1mL、0.001M 氫硼化鈉5mL 比例配製時，可呈現奈米銀特有金黃色溶液，並在 UV 光譜中得知於390nm 有奈米銀之特徵峰，利用穿透式電子顯微鏡(TEM)圖之比較可觀察不同濃度奈米銀粒子的狀態，因此可得知此為製備奈米銀之最佳條件。

二、加入不同形狀奈米銀於太陽能漆中

利用不同形狀的奈米銀加入太陽能漆中，找出最高的轉換率。實驗得知加入不同形狀的奈米銀後，黃色奈米銀(球形)的轉換率最高，其次為藍色(三角形)、綠色(橢圓形)。由此可知，黃色(球形)奈米銀之銀粒子能有效捕捉光電子，有極佳的光化學反應，無論加入太陽能電池或是太陽能漆都會有更高的效率。

三、不同花青素染料之影響

利用七種含有花青素的染料製作出太陽能漆。其中，花青素含量最高的是藍莓，但其作用於太陽能漆時之轉換率並非最高，主要原因是穩定性不佳，數據忽高忽低；而玫瑰卻有傲人的成績，雖花青素含量並非最佳，可能是因其花青素所吸收之光能完全，故加入太陽能漆後可提高效率。

四、照射不同光源於太陽能電池之比較

以最佳條件的太陽能漆分別照射太陽光(波長約 $4 \times 10^{-7} \text{m} \sim 10^{-7} \text{m}$)、日光燈(波長約 $2.537 \times 10^{-7} \text{m}$)、黃光(波長約 $5.6 \times 10^{-7} \text{m} \sim 6 \times 10^{-7} \text{m}$)、紫外光(波長約 $10^{-7} \text{m} \sim 10^{-8} \text{m}$)、鹵素燈(波長約 $3.15 \times 10^{-7} \sim 7.50 \times 10^{-7}$)。實驗證明照射紫外光的轉換率最高，其次是鹵素燈(照射70~90分鐘尤為佳)，再來是太陽光，最後是日光燈與黃光。黃光放熱多，因此太陽能漆易乾，要常加電解液，效率又不高，以太陽光取代之反而更好又環保。在太陽光的部分比之前冬天做的實驗，轉換率更好，推知雲層的厚度和天氣的因素會有影響。紫外光吸收的能量多，並且隨著時間穩定增加，是非常好的光源。

五、白色太陽能漆分別加入 ITO 或奈米銀於正負極之影響

發現只在負極上加 ITO 轉換率比在正極上加 ITO 來得高，但是兩極都加 ITO 不一定比較高，加在負極上的奈米銀比加在正極來得好，因為 TiO_2 有光催化效果又加上奈米銀捕捉光電子導致轉換率較好。從【實驗九】發現，如果第二層沒有加碳粉，油漆會變白，但因為奈米級 TiO_2 電阻太大，測出來的電流極小，轉換率變得非常小。

六、最佳配製太陽能漆方法

發現當奈米級 TiO_2 0.4275g、碳粉 0.5545g、玫瑰 1mL、奈米銀(黃)2.5mL、照射90分鐘可達到最高的轉換率： $1.43 \times 10^{-2} \%$ 。實驗結果較之前文獻研究高出100倍之多，且穩定性極佳，真是令人振奮。

柒、參考文獻

- 一、製備奈米銀之最佳條件與性質討論 作者：林碩彥
- 二、呂怡萱，「二氧化鈦奈米管於染料敏化太陽能池之探討」，國立中央大學，碩士論文，民國95年
- 三、王瑤池 陳建州 李豫暉 張仲志，「氧化鈦與奈米銀薄膜之光致變色研究」
WHAMPOA - An Interdisciplinary Journal 53(2007)
- 四、Yun-Yue Lin，「利用溶液製程製備導電高分子混摻奈米材料太陽能電池」，
臺灣大學材料科學與工程學研究所學位，2009年
- 五、黃竝暉 楊東霖 黃証麒，「氧化鈦薄膜之非均相光催化作用應用光致變色之研究」，2007年
- 六、綠色奈米科技教學深化計畫
作者：黃世孟、蘇進成、鍾宜璋、馮世維
- 七、太陽光電諮詢 <http://soLarpv.itri.org.tw/memb/main.aspx>
- 八、美國能源部 <http://www.eere.energy.gov/>
- 九、太陽光電發電示範系統推廣計 <http://www.pvproject.com.tw/aboutus/>
- 十、M. Grätzel, J. Photochem. and Photobiol. A:Chem. 2004, 164, 3.
- 十一、Z.Huo et al. SoLar Energy Materials & SoLar Cells 2007, 91, 1959
- 十二、Mingdeng Wei; Yoshinari Konishi; Haoshen Zhou; Hideki Sugihara \ and Hironori Arakawa, J. Electrochem. Soc. 2006, 153, A1232

【評語】 091101

1. 本作品嘗試製備奈米級光敏染料太陽能漆，使用各種花青素染料，並配合添加不同形狀奈米銀粒子，進而比較光源與光照時間對轉換率之影響。
2. 太陽能漆是目前一種相當新穎的太陽能技術，轉化率雖尚低，但因具有其特色與優點，因此廣受各界重視。本作品所得太陽能漆轉化率雖低，但整個研究架構完整，具體可行，對於奈米銀粒子與七種天然染料對太陽能漆的影響，已奠定基礎。
3. 本組學生表達清晰且生動活潑，對於作品內含亦相當熟悉，值得肯定。
4. 未來宜妥善控制實驗變因、慎選材料及提高實驗精確度，以提高轉換率。