中華民國第54屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組　化學科

030217

電極染敏電池

—利用金屬活性為電極的太陽能電池之研究

學校名稱：臺中市立大甲國民中學

作者：	指導老師：
國二 蔡佳霖	楊鍾鳴
國二 鄭青宇	郭純真
國一 許超翔	

關鍵詞：染敏電池、奈米、電功率

摘　要

一般染敏電池的發電功率並不高，本研究結合不同活性金屬作為電極端，並且分解電池結構逐步探討可能提升發電功率的因素：正極端的組成、負極端的組成、電解液中的水濃度、組裝方式、外在環境的影響。研究結果顯示，以 10*20mm 大小、阻抗 8Ω的 FTO 玻璃，結合鎂銅金屬為電極所製得的電極染敏電池，單一 Cell 所得最大電流為 1965μA、電壓 1776mV、電功率 3489.172μW≒3.5mW。另外利用市售的抽油煙機鋁質濾網、石墨塗層、銅片可以簡易製得電極染敏電池，實驗所製的 50×50mm 的鋁銅電極染敏電池，擺放 30 天仍可產生電功率 0.811mW，透過適當的封裝可以成為可撓式的太陽能電池。

壹、 研究動機

太陽能染敏電池、太陽塗漆已經研究開發，其原理是色素經過光照下轉變成激發態造成放電現象。然而在電子轉移的過程中，因為沒有金屬電極因而未能有方向性效率的移動。因此本研究以結合具有金屬活性的電極端，類似鋅銅電池與太陽能染敏電池結合為新一代的電極染料電池。在過程中我們將染劑、奈米級二氧化鈦溶液、奈米碳黑溶液一層一層塗上，待溶液揮發後再疊合組裝成電池，期望能製造出較為方便組裝且效能較高的染敏電池。

貳、 研究目的與問題

一、了解夾層物質處理方式對發電效益的差異

(一)、 夾層物質分層處理與混合處理對發電效益關係為何？

(二)、 加入不同金屬電極片對發電效益的關係為何？

(三)、 電解液中水濃度對發電效益的關係為何？

(四)、 正極碳黑附著方式對發電效益的關係為何？

(五)、 色素種類對發電效益的關係為何？

(六)、 混合夾層物質附著方式對發電效益的關係為何？

二、外加磁場處理對發電效益的差異

(一)、外加磁場方向對發電效益的關係為何？

三、最佳發電效益之電池串、並聯發電效益的測試

(一)、 並聯處理對發電效益的關係為何？

(二)、 串聯處理對發電效益的關係為何？

四、如何組裝簡易電極染敏電池

(一)、 簡易製作的電極染敏電池是否可行？

參、 研究器材

一. 色素的粹取：

取葉子、有色花瓣...等不同顏色物質烘乾後，各取 10g，加入 50ml 酒精隔水加熱溶解萃取出色素。

二. 奈米 TiO_2 溶液的配置：

取奈米 TiO_2 粉末 0.1g 與 1ml 酒精之比例混合研磨溶解，各添加五滴洗碗精與稀醋酸，需要更稀的溶液則添加酒精量。

三. 奈米碳黑溶液的配置：

以電土(碳化鈣 CaC_2)加水產生乙炔氣體，以排水集氣法收集於五根試管中，之後點火使其不完全燃燒後產生碳黑於試管壁上。在試管中添加 10ml 酒精使其溶解得到溶液。

四. 電解液的配置：

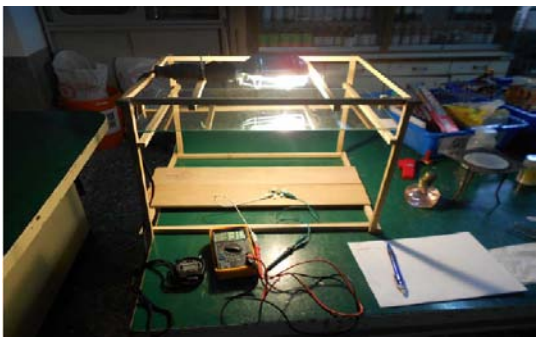
以 0.1g 碘化鉀 KI、0.1g 碘晶體 I_2 溶解於 5ml 酒精中配得溶液。

五. 烤箱：

以 A3 紙箱與 150W 之工作燈做成一個封閉的烤箱。

六. 照光器：

以木棒做成 A3 紙箱尺寸的框架，距離底部 20cm 處放置一透明的玻璃片隔絕燈泡的熱，並成立一個開放空間排出照光時造成熱的因素。



七. 導電玻璃：

FTO 玻璃為導電玻璃，電阻值為 8Ω，尺寸為 10x20mm。

肆、 實驗流程與實驗結果

✂ 實驗一：夾層物質分層處理與混合處理對發電效益關係為何？

實驗步驟：

(一)、 逐層處理：

1. 將奈米 TiO_2 溶液塗抹於最上層的導電玻璃上，放入烤箱烘乾後在放在高溫烤盤上使其燒結。
2. 在燒結的 TiO_2 上滴上色素溶液，放入烤箱烘乾。
3. 取出後滴上電解液，再放入烤箱烘乾。
4. 取另一導電玻璃，在導電層上以蠟燭燻黑。
5. 錯開兩導電層，以木夾夾緊導電玻璃。
6. 在兩極使用鱷魚夾連接至電表，記錄照光之電流、電壓值 10 分鐘。

(二)、 半混層處理：

1. 取奈米 TiO_2 溶液、色素溶液、電解液各 5 滴混合，將混合溶液 TiO_2 溶液塗抹於兩個導電玻璃上。
2. 將導電玻璃放入烤箱烘乾。
3. 取另一導電玻璃，在導電層上以蠟燭燻黑。
4. 將金屬片錯開疊合，以木夾夾緊兩導電玻璃片。
5. 在兩極使用鱷魚夾連接至電表，記錄照光之電流、電壓值 10 分鐘。

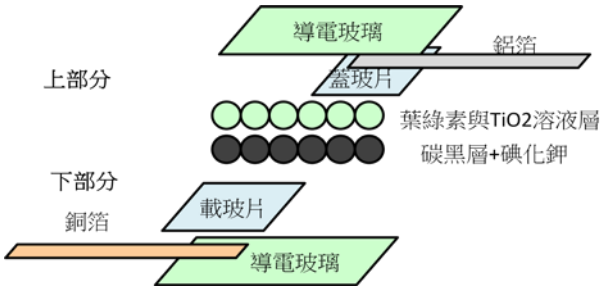
(三)、 全混層處理：

1. 取奈米 TiO_2 溶液、色素溶液、奈米碳黑溶液、電解液各 5 滴混合，將混合溶液 TiO_2 溶液塗抹於兩個導電玻璃上。
2. 將兩個導電玻璃放入烤箱烘乾後錯開疊合，以木夾夾緊兩導電玻璃片。
3. 在兩極使用鱷魚夾連接至電表，記錄照光之電流、電壓值 10 分鐘。

實驗二：加入不同金屬電極片對發電效益的關係為何？

實驗步驟:

1. 如下圖拼裝電池，以絕緣的蓋玻片隔絕電極。
2. 使用 0.2g 奈米二氧化鈦粉末溶於 5ml 奈米碳黑酒精溶液、5ml 葉綠素酒精溶液、0.2g 碘與碘化鉀酒精溶液（需要時添加）。



實驗三：電解液中水濃度對發電效益的關係為何？

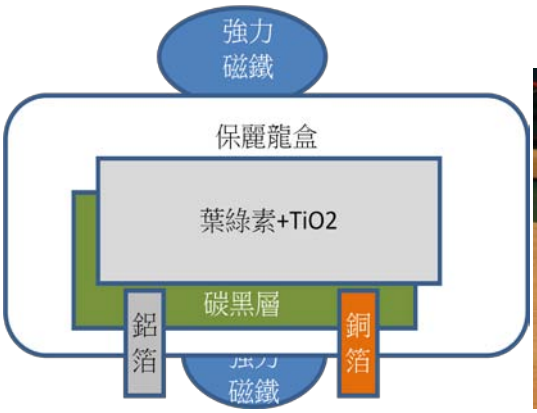
實驗步驟:

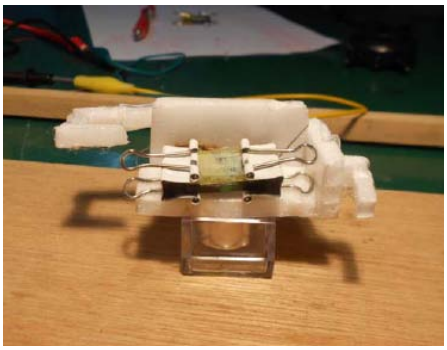
1. 分別調配水對電解液不同比例的混合液。
2. 以鋁銅電極進行組裝，測量其發電效益。

實驗四：利用磁極對發電效益的關係為何？

實驗步驟:

1. 以鋁銅電極進行組裝。
2. 做一個無蓋的長方形保麗龍盒，在其中一側挖兩個洞，讓鋁片及銅片可伸出盒外，如下圖。
3. 以水濃度 25%的電解液進行填充。
4. 在保麗龍盒周圍擺放磁鐵，測量其發電效益。





實驗五：正極處理對發電效益的關係為何？

實驗步驟：

1. 取四片導電玻璃做以下的四種不同正極處理：
   (1)以蠟燭燻上碳黑
   (2)以 8B 的素描鉛筆重複塗上石墨
   (3)以碳化鈣加水產生乙炔氣體收集於試管中，在不完全燃燒下產生奈米碳黑附著於試管內壁，取 5ml 電解質溶液倒入試管內溶解碳黑，將碳黑溶液滴於導電玻璃上使其乾燥產生薄膜層，等待組裝電池，滴入溶有碳黑的電解液。
   (4)先用 8B 鉛筆進行塗層，在用蠟燭燻上薄薄的碳黑層。
2. 其餘電池組裝動作與前面實驗相同，組裝出四種不同的正極處理電池。
3. 進行電流、電壓的量測。

實驗六：負極處理對發電效益的關係為何？

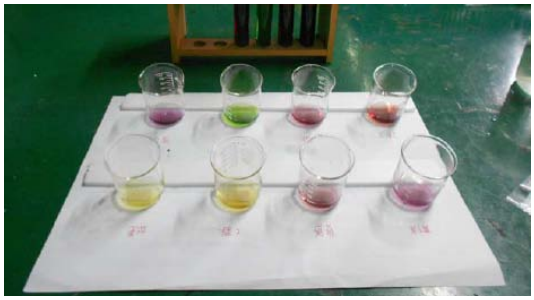
實驗步驟：

1. 取四片導電玻璃做以下的四種不同負極處理：
   (1)以一般奈米二氧化鈦粉末加稀醋酸、洗碗精、酒精研磨自製成溶液、塗佈燒結。
   (2)以市售奈米二氧化鈦防水溶液浸塗晾乾，再進行加熱燒結。
   (3)將市售奈米二氧化鈦溶液與奈米二氧化鈦粉末混合成稀溶液，塗佈後燒結。
   (4)先以市售奈米二氧化鈦浸塗晾乾，加熱燒結後再浸入自製溶液中，塗佈再燒結。
2. 其餘電池組裝動作與前面實驗相同，組裝出四種不同的負極處理電池。
3. 進行電流、電壓的量測。

實驗七：色素種類對發電效益的關係為何？

實驗步驟:

1. 收集不同顏色的色素，利用超音波震盪取得色素。
2. 以不同色素浸泡處理過的負極面。
3. 組裝電池，測量照光後所能得到的最大電壓與電流值。

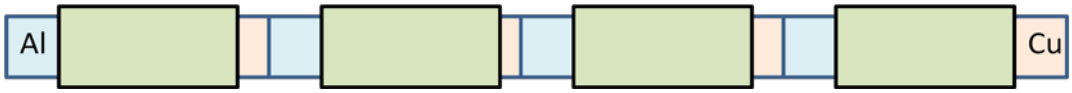


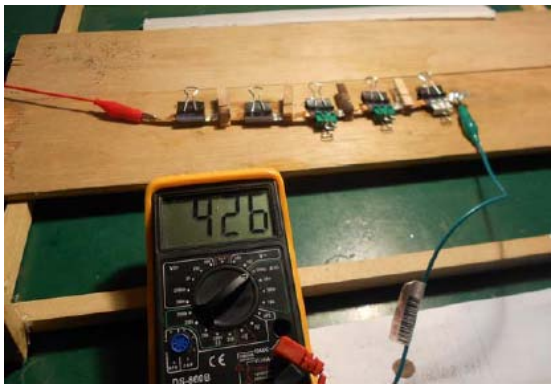
實驗八：利用串聯處理對發電效益的關係為何？

實驗步驟:

1. 以藍莓為染料進行組裝，以鋁片與銅片交疊串聯電池，如下圖。
2. 先分別量取每一單元的電池的電流與電壓值。
3. 再以不同的串聯數量取其最大的電壓、電流值。

串聯組裝圖



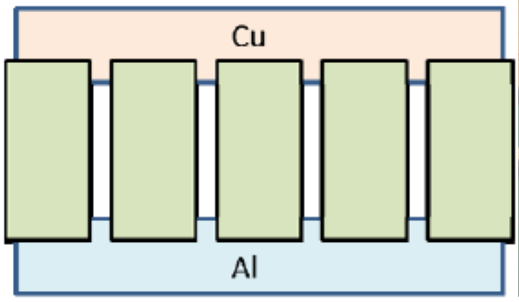


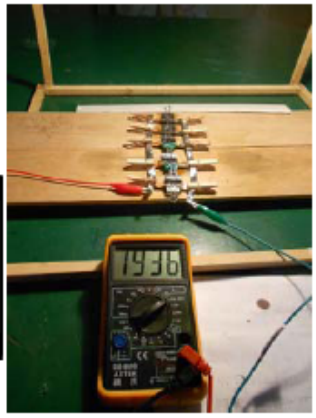
實驗九：利用並聯處理對發電效益的關係為何？

實驗步驟:

1. 以藍莓為染料進行組裝。
2. 以長條鋁片、銅片作為並聯導線分別連接正、負極並聯電池，如下圖。
3. 再測量不同並聯電池數的最大電壓、電流值。

並聯組裝圖

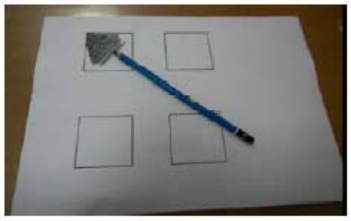
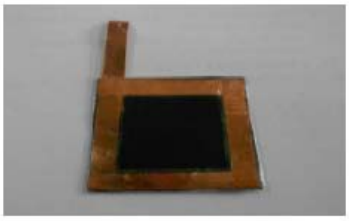


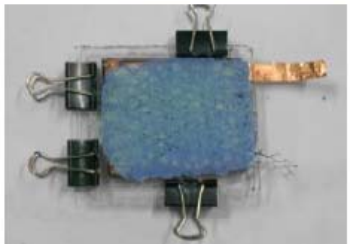


實驗十：簡易電極染料電池的試組裝效果？

實驗步驟:

1. 正極處理：取一影印紙先打印出方框，再使用 8B 鉛筆塗上底色，再重新用雷射印表機重複印上碳黑於塗色部分。取銅片與膠帶貼齊四周，並且確保銅片與黑色部分緊密接觸。
2. 負極處理：使用抽油煙機鋁質濾網，裁剪出適當的大小，在網上塗上二氧化鈦粉末，乾燥後高溫加熱至 450℃使其燒結，待降溫後沾上染料至乾。
3. 組裝與填裝電解液：以透明玻璃片上下夾裝電極與染料電池，並用鐵夾夾緊，填裝電解液至滿。
4. 以 AB 膠填補電池四周使電解液不滲出。
5. 以不同時期進行電池照光，連接電表測量電壓與電流值。



伍、 實驗結果

實驗一：夾層物質分層處理與混合處理對發電效益關係

※分層處理

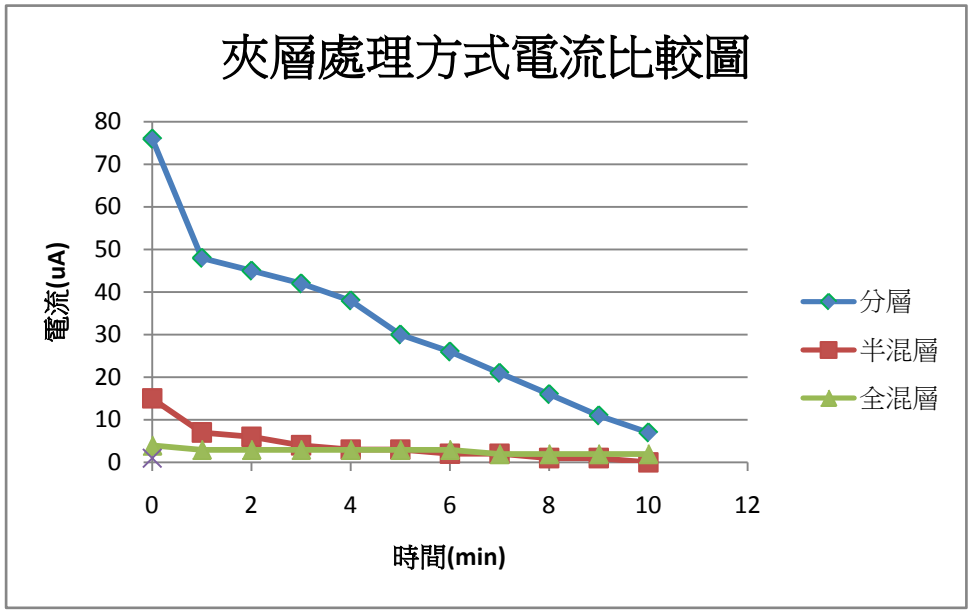
時間 (min)	電流 (μA)	電壓 (mV)	電功率 (μW)
0	76	324	24.624
1	48	315	15.12
2	45	310	13.95
3	42	313	13.146
4	38	305	11.59
5	30	292	8.76
6	26	277	7.202
7	21	262	5.502
8	16	247	3.952
9	11	235	2.585
10	7	221	1.547

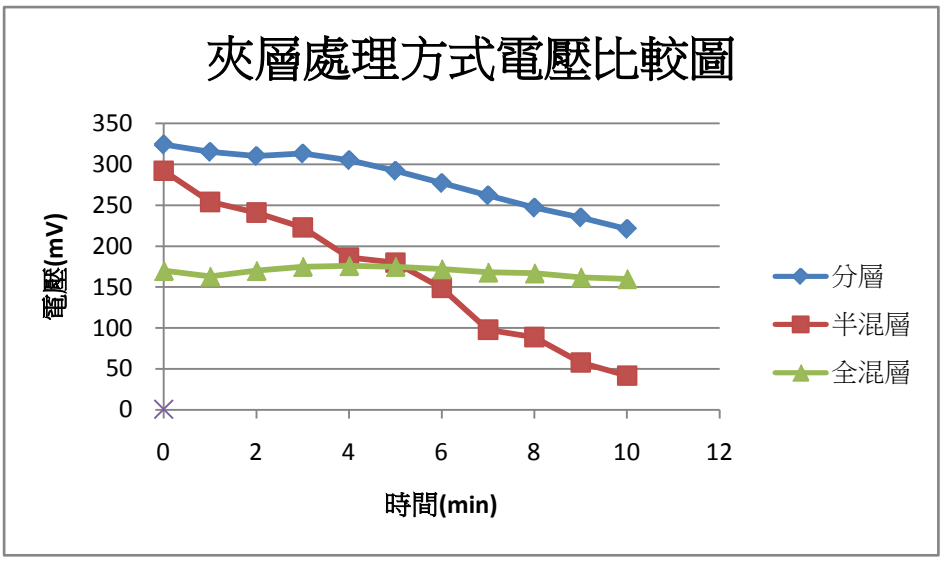
※半混層處理

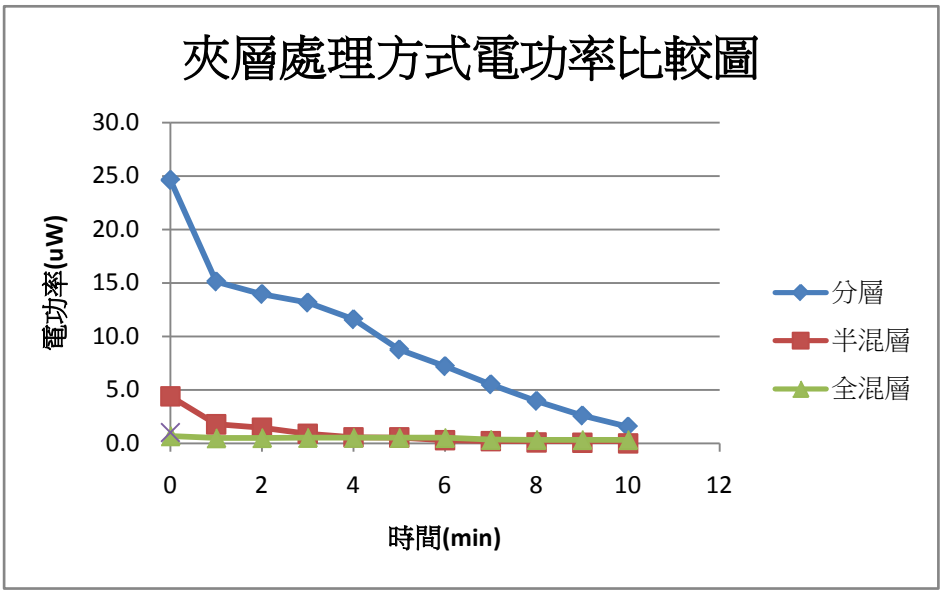
時間 (min)	電流 (μA)	電壓 (mV)	電功率 (μW)
0	15	292	4.380
1	7	254	1.778
2	6	241	1.446
3	4	223	0.892
4	3	186	0.558
5	3	180	0.540
6	2	149	0.298
7	2	98	0.196
8	1	89	0.089
9	1	58	0.058
10	0	42	0.000

※全混層處理

時間 (min)	電流 (μA)	電壓 (mV)	電功率 (μW)
0	4	170	0.680
1	3	163	0.489
2	3	170	0.510
3	3	175	0.525
4	3	176	0.528
5	3	175	0.525
6	3	172	0.516
7	2	168	0.336
8	2	167	0.334
9	2	162	0.324
10	2	160	0.320







小結：

1. 夾層處理以分層處理的發電效益最好，發電功率最大為 24.624mW。
2. 初步的實驗拼裝結果顯示照光後的電壓、電流下降趨勢明顯

實驗二：加入不同金屬電極片對發電效益的關係

※分層、無電極

時間 (min)	電流 (μA)	電壓 (mV)	電功率 (μW)
0	46	186	8.556
1	43	188	8.084
2	41	187	7.667
3	40	186	7.44
4	38	185	7.030
5	36	183	6.588
6	34	180	6.120
7	31	177	5.487
8	30	174	5.220
9	28	170	4.760
10	29	172	4.988

※分層、鎂銅電極

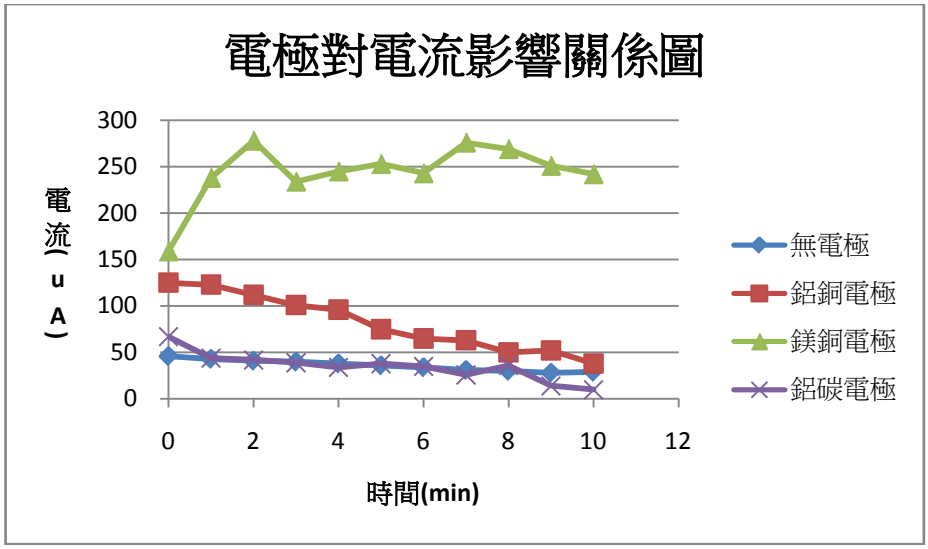
時間 (min)	電流 (μA)	電壓 (mV)	電功率 (μW)
0	159	1194	189.846
1	238	1442	343.196
2	278	1345	373.910
3	234	1356	317.304
4	245	1397	342.265
5	253	1323	334.719
6	243	1590	386.370
7	276	1456	401.856
8	269	1484	399.196
9	251	1486	372.986
10	242	1266	306.372

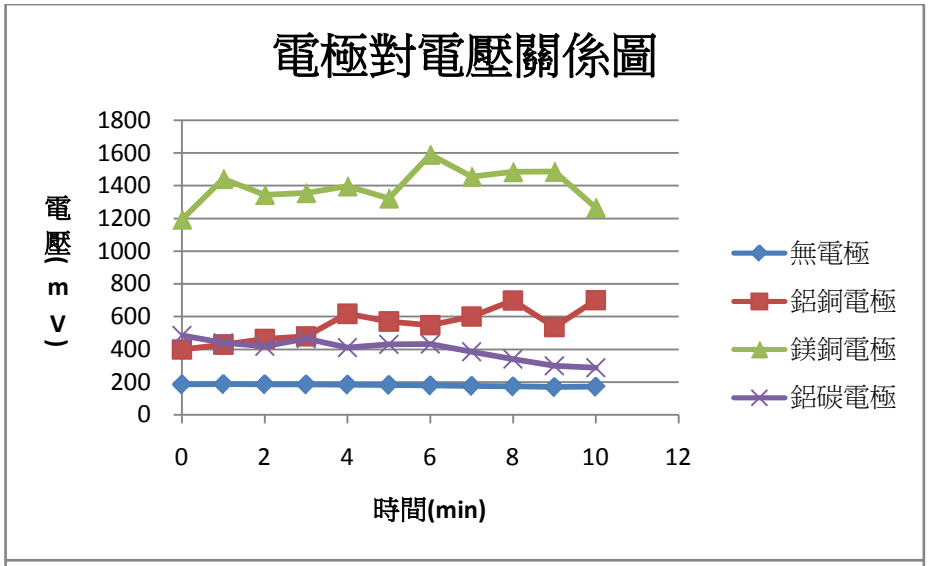
※分層、鋁銅電極

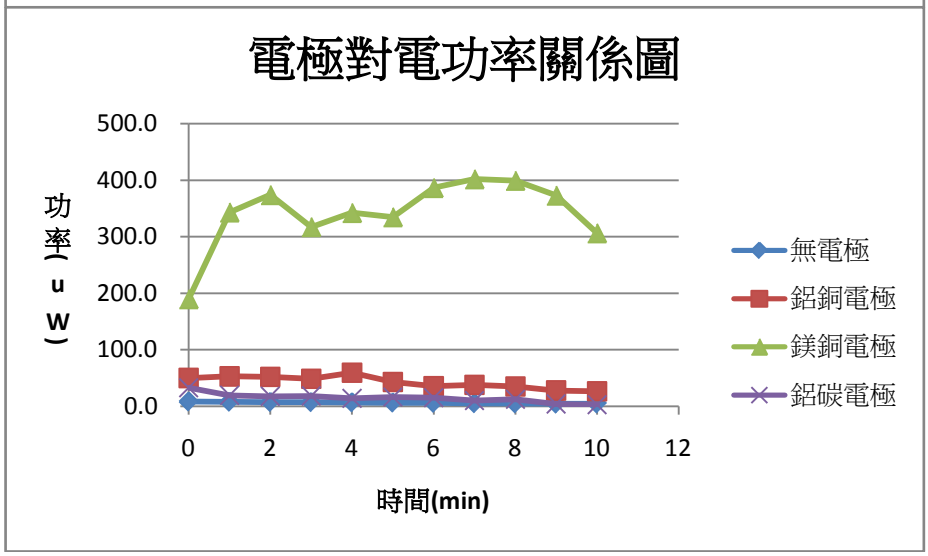
時間 (min)	電流 (μA)	電壓 (mV)	電功率 (μW)
0	125	400	50.000
1	123	430	52.890
2	112	464	51.968
3	101	480	48.480
4	96	618	59.328
5	75	571	42.825
6	65	548	35.620
7	63	601	37.863
8	50	699	34.950
9	52	537	27.924
10	38	701	26.638

※分層、鋁碳電極

時間 (min)	電流 (μA)	電壓 (mV)	電功率 (μW)
0	67	486	32.562
1	44	440	19.360
2	42	419	17.598
3	39	466	18.174
4	34	411	13.974
5	38	431	16.378
6	35	433	15.155
7	26	386	10.036
8	36	341	12.276
9	14	300	4.200
10	10	288	2.880







小結：

1. 有加金屬電極時其發電功率皆大大提升。
2. 發電功率以鎂銅電極 401.856 μW 為最佳。
3. 兩電極活性差越大其發電功率較佳。

實驗三：電解液中水濃度對發電效益的關係

※水濃度 90%

時間 (min)	電流 (μA)	電壓 (mV)	電功率 (μW)
0	127	287	36.449
1	107	289	30.923
2	105	325	34.125
3	98	355	34.790
4	92	413	37.996
5	102	520	53.040
6	91	575	52.325
7	282	625	176.250
8	197	628	123.716
9	202	631	127.462
10	207	635	131.445

※水濃度 25%

時間 (min)	電流 (μA)	電壓 (mV)	電功率 (μW)
0	188	542	101.896
1	219	558	122.202
2	229	556	127.324
3	246	454	111.684
4	257	540	138.780
5	292	530	154.760
6	323	520	167.960
7	349	514	179.386
8	259	462	119.658
9	240	498	119.520
10	135	426	57.510

※水濃度 75%

時間 (min)	電流 (μA)	電壓 (mV)	電功率 (μW)
0	75	205	15.375
1	79	235	18.565
2	80	252	20.160
3	84	267	22.428
4	79	283	22.357
5	79	300	23.700
6	76	320	24.320
7	78	342	26.676
8	75	365	27.375
9	76	383	29.108
10	72	416	29.952

※水濃度 10%

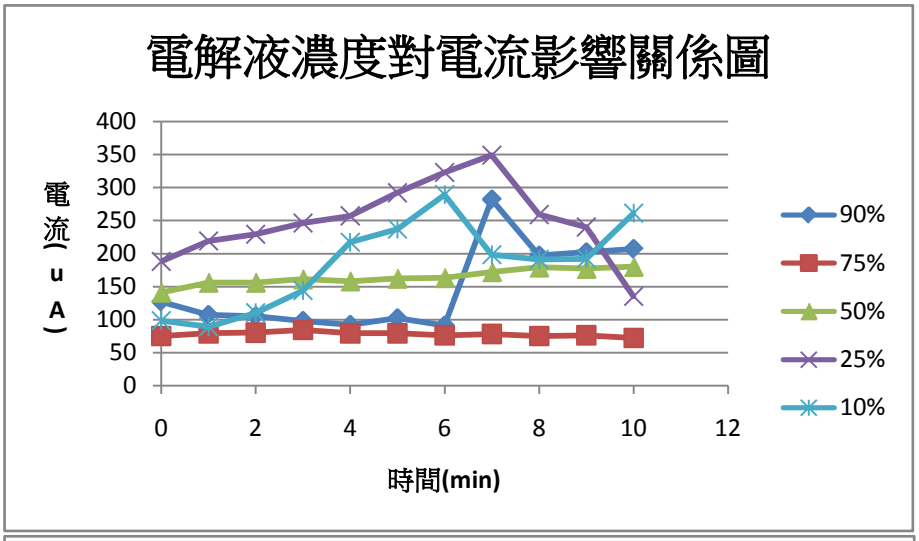
時間 (min)	電流 (μA)	電壓 (mV)	電功率 (μW)
0	98	417	40.866
1	89	426	37.914
2	110	434	47.740
3	144	446	64.224
4	217	484	105.028
5	237	438	103.806
6	289	484	139.876
7	198	492	97.416
8	191	493	94.163
9	192	480	92.160
10	261	507	132.327

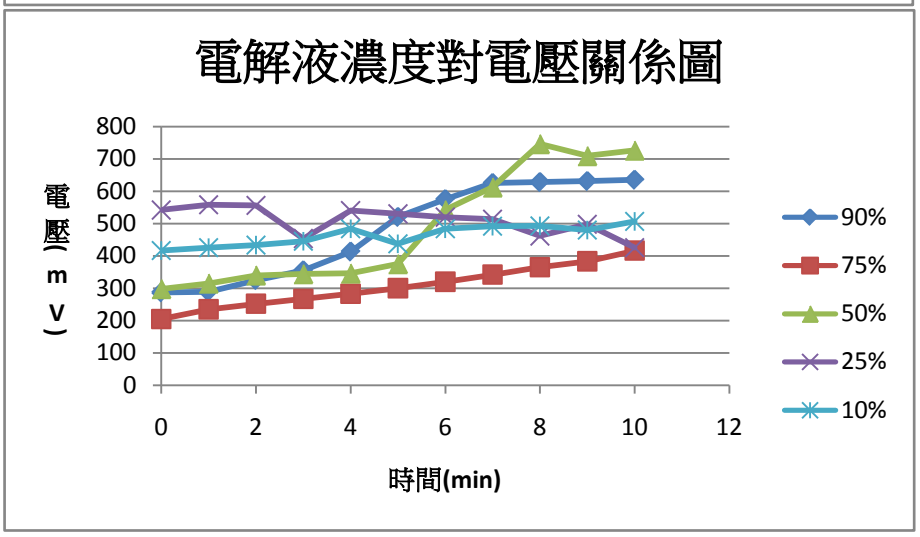
※水濃度 50%

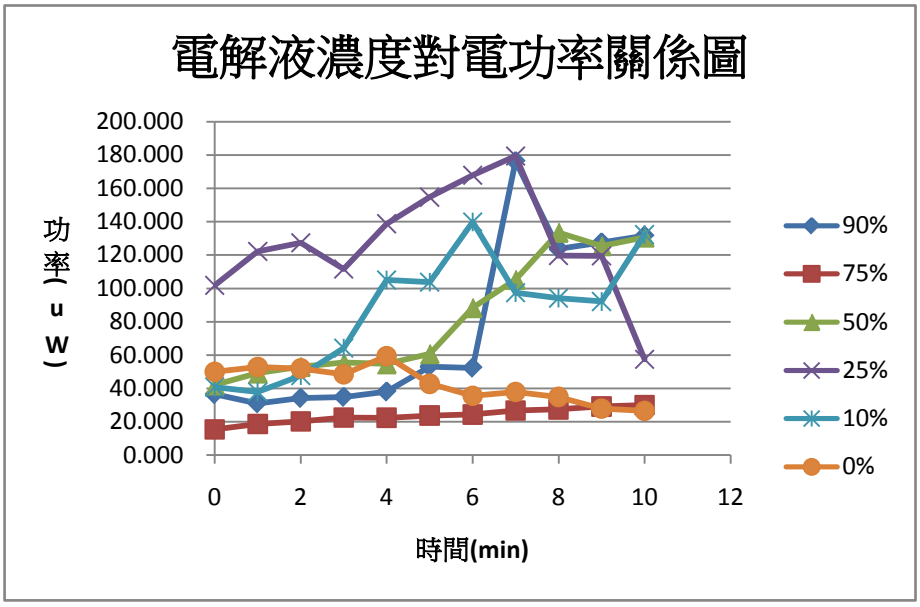
時間 (min)	電流 (μA)	電壓 (mV)	電功率 (μW)
0	141	298	42.018
1	156	315	49.140
2	156	340	53.040
3	161	344	55.384
4	158	346	54.668
5	162	375	60.750
6	163	542	88.346
7	172	612	105.264
8	179	746	133.534
9	177	709	125.493
10	180	726	130.680

※水濃度 0%

時間 (min)	電流 (μA)	電壓 (mV)	電功率 (μW)
0	125	400	50.000
1	123	430	52.890
2	112	464	51.968
3	101	480	48.480
4	96	618	59.328
5	75	571	42.825
6	65	548	35.620
7	63	601	37.863
8	50	699	34.950
9	52	537	27.924
10	38	701	26.638







小結：

1. 電解液中水濃度在 25%~10%之間有最大的發電效益。
2. 電解液中水濃度 25%之最大發電功率為 179.4 μW。

實驗四：利用磁極對發電效益的關係

※無磁極

時間 (min)	電流 (μA)	電壓 (mV)	電功率(μW)
0	188	542	101.896
1	219	558	122.202
2	229	556	127.324
3	246	454	111.684
4	257	540	138.780
5	292	530	154.760
6	323	520	167.960
7	349	514	179.386
8	259	462	119.658
9	240	498	119.520
10	135	426	57.510

※S 極向上

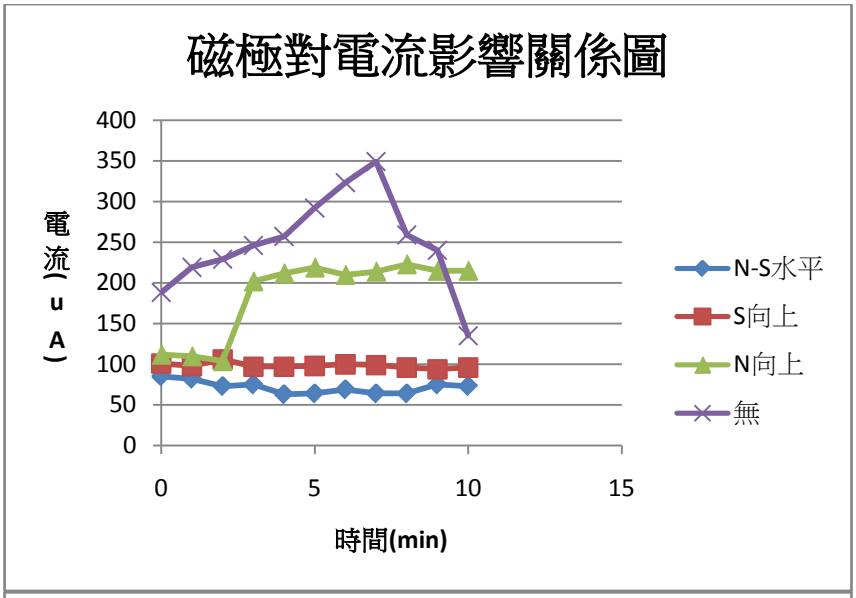
時間 (min)	電流 (μA)	電壓 (mV)	電功率 (μW)
0	101	697	70.397
1	98	690	67.620
2	106	688	72.928
3	97	676	65.572
4	97	669	64.893
5	98	665	65.170
6	100	668	66.800
7	99	663	65.637
8	96	664	63.744
9	94	658	61.852
10	96	647	62.112

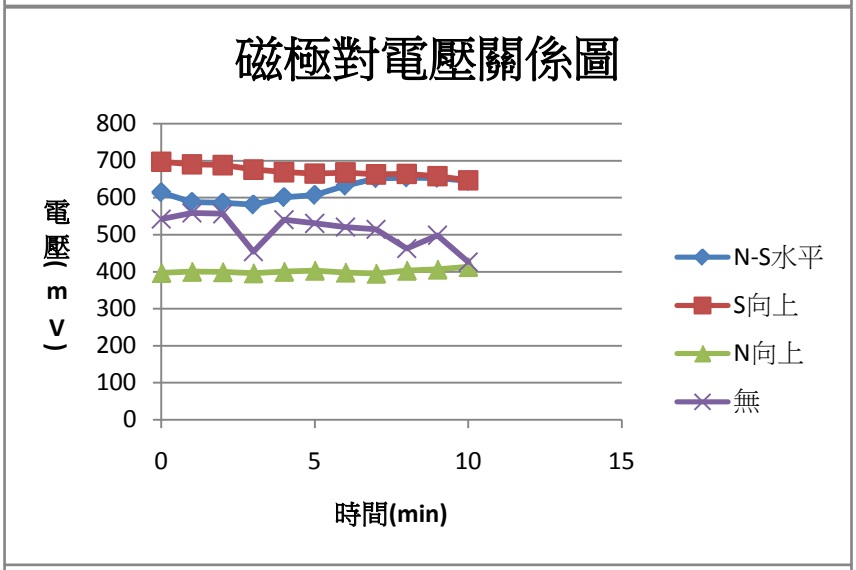
※N-S 水平

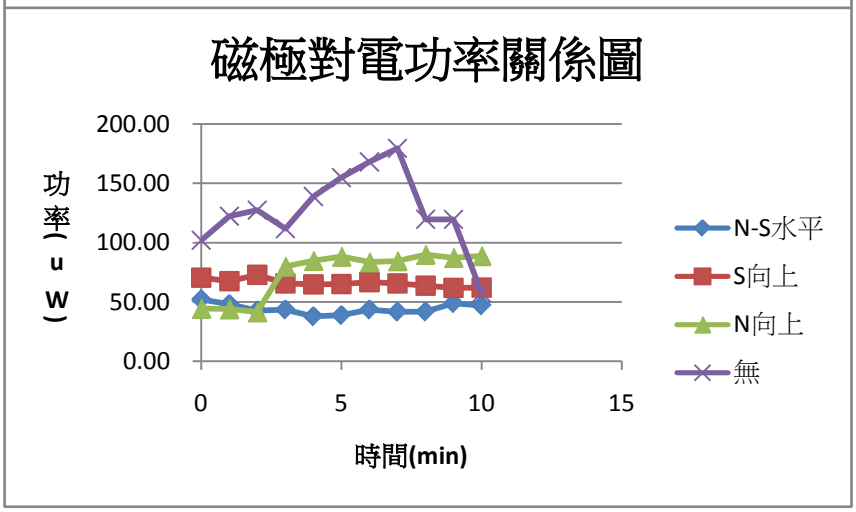
時間 (min)	電流 (μA)	電壓 (mV)	電功率 (μW)
0	85	614	52.190
1	82	588	48.216
2	73	586	42.778
3	75	581	43.575
4	63	601	37.863
5	64	607	38.848
6	69	632	43.608
7	64	652	41.728
8	64	654	41.856
9	75	653	48.975
10	73	645	47.085

※N 極向上

時間 (min)	電流 (μA)	電壓 (mV)	電功率 (μW)
0	112	397	44.464
1	110	400	44.000
2	104	399	41.496
3	202	396	79.992
4	212	400	84.800
5	219	403	88.257
6	210	398	83.580
7	214	395	84.530
8	223	403	89.869
9	215	406	87.290
10	215	413	88.795







一、 小結：

1. 外加磁場時，其發電的電壓與電流相對穩定。
2. 外加磁場時，其發電的功率下降許多。

實驗五：正極處理對發電效益的關係

※蠟燭碳黑

時間 (min)	電流 (μA)	電壓 (mV)	電功率 (μW)
0	124	706	87.544
1	106	737	78.122
2	116	718	83.288
3	111	694	77.034
4	108	709	76.572
5	95	681	64.695
6	100	688	68.800
7	92	675	62.100
8	86	666	57.276
9	92	651	59.892
10	82	603	49.446

※奈米碳黑溶液

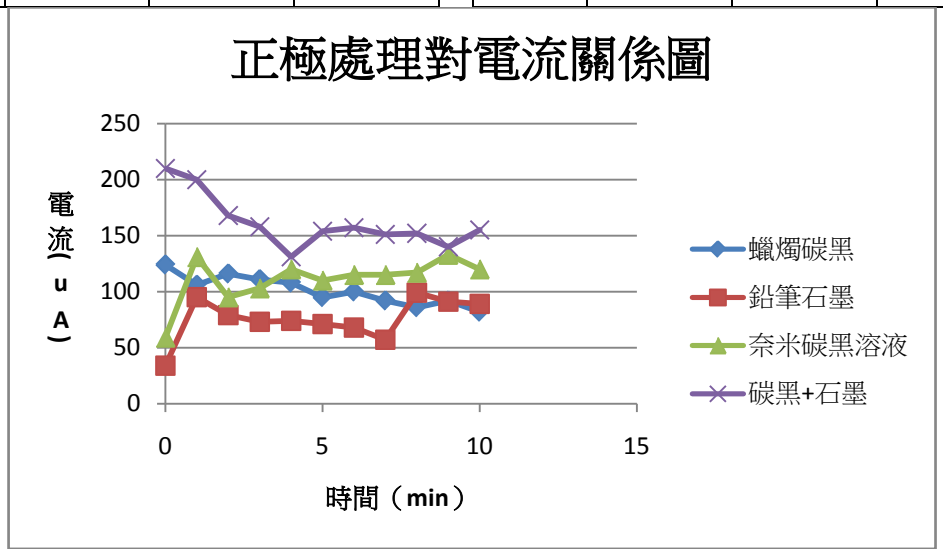
時間 (min)	電流 (μA)	電壓 (mV)	電功率 (μW)
0	59	700	41.300
1	131	720	94.320
2	95	713	67.735
3	103	717	73.851
4	120	700	84.000
5	110	710	78.100
6	115	712	81.880
7	115	715	82.225
8	117	716	83.772
9	133	722	96.026
10	120	714	85.680

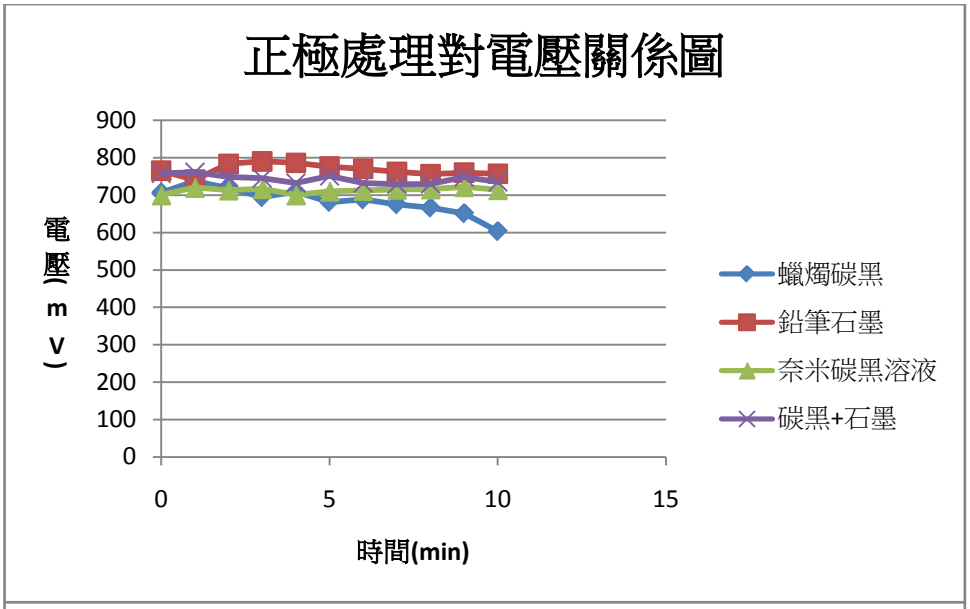
※鉛筆石墨

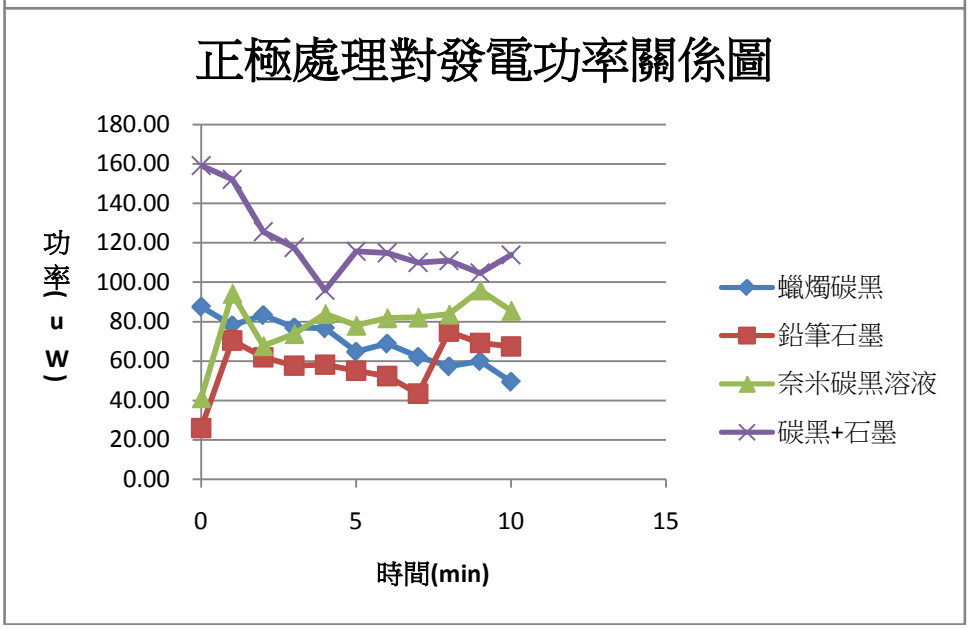
時間 (min)	電流 (μA)	電壓 (mV)	電功率 (μW)
0	34	765	26.010
1	95	741	70.395
2	79	783	61.857
3	73	790	57.670
4	74	786	58.164
5	71	776	55.096
6	68	770	52.360
7	57	762	43.434
8	99	756	74.844
9	91	760	69.160
10	89	757	67.373

※鉛筆石墨+蠟燭碳黑

時間 (min)	電流 (μA)	電壓 (mV)	電功率 (μW)
0	210	758	159.180
1	200	761	152.200
2	168	748	125.664
3	158	745	117.710
4	131	732	95.892
5	154	751	115.654
6	157	732	114.924
7	151	729	110.079
8	152	730	110.960
9	140	748	104.720
10	155	735	113.925







小結：

1. 以鉛筆石墨加蠟燭碳黑的正極處理有最大的發電效益 159.180 μW。
2. 正極處理對電流的影響變化較大，對電壓的影響變化較小。

實驗六：負極處理對發電效益的關係

※自製奈米 TiO_2 溶液燒結

時間 (min)	電流 (μA)	電壓 (mV)	電功率 (μW)
0	200	490	98.000
1	193	418	80.674
2	192	411	78.912
3	229	446	102.134
4	224	449	100.576
5	213	440	93.720
6	193	435	83.955
7	200	425	85.000
8	226	425	96.050
9	222	414	91.908
10	250	429	107.250

※奈米溶液層+自製奈米 TiO_2 溶液混合燒結

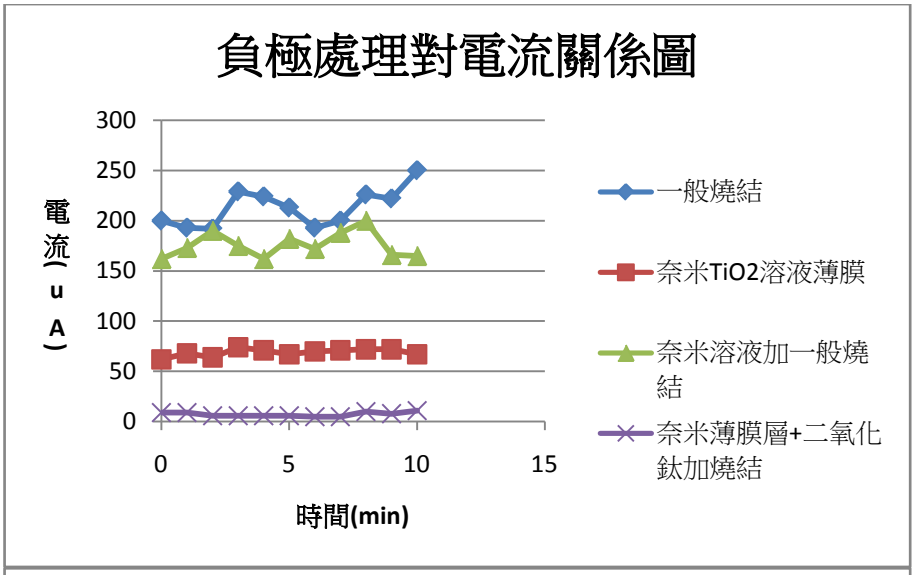
時間 (min)	電流 (μA)	電壓 (mV)	電功率 (μW)
0	162	403	65.286
1	173	423	73.179
2	190	424	80.560
3	175	409	71.575
4	162	409	66.258
5	182	449	81.718
6	172	409	70.348
7	188	421	79.148
8	200	412	82.400
9	166	404	67.064
10	165	401	66.165

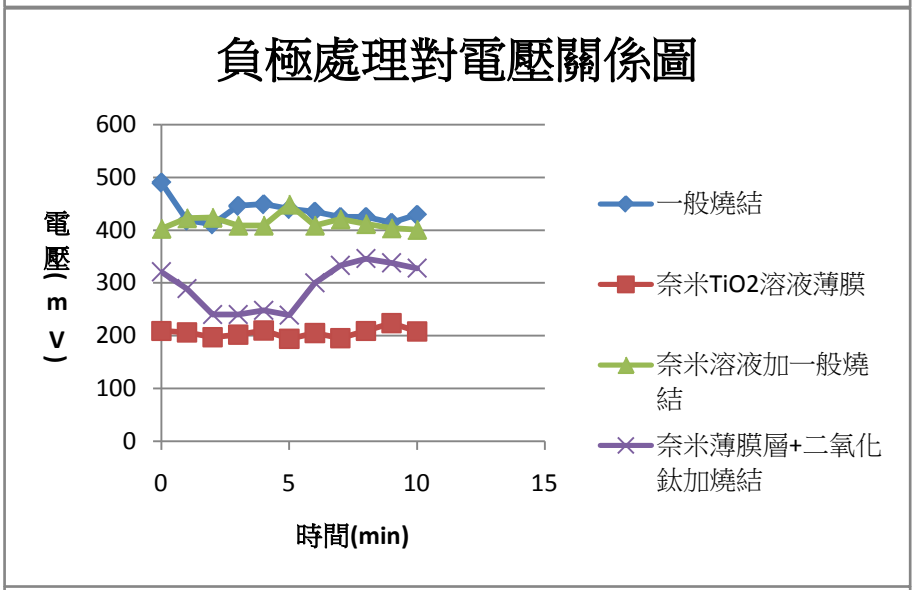
※奈米 TiO_2 溶液薄膜

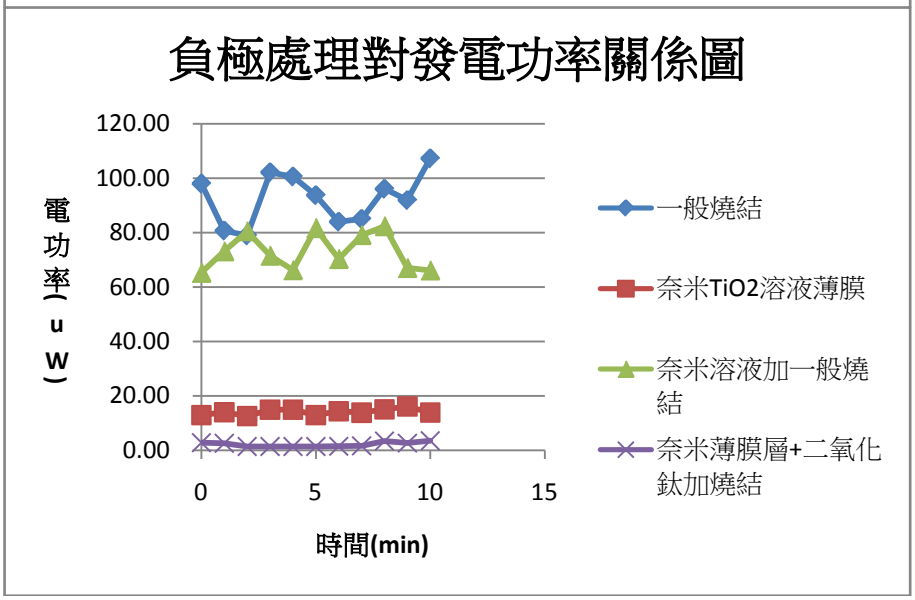
時間 (min)	電流 (μA)	電壓 (mV)	電功率 (μW)
0	62	209	12.958
1	68	206	14.008
2	64	197	12.608
3	74	202	14.948
4	71	210	14.910
5	67	194	12.998
6	70	205	14.350
7	71	195	13.845
8	72	209	15.048
9	72	224	16.128
10	67	208	13.936

※奈米溶液層+自製奈米 TiO_2 溶液分層燒結

時間 (min)	電流 (μA)	電壓 (mV)	電功率 (μW)
0	9	321	2.889
1	9	289	2.601
2	6	240	1.440
3	6	240	1.440
4	6	248	1.488
5	6	239	1.434
6	5	300	1.500
7	5	333	1.665
8	10	346	3.460
9	8	338	2.704
10	11	328	3.608





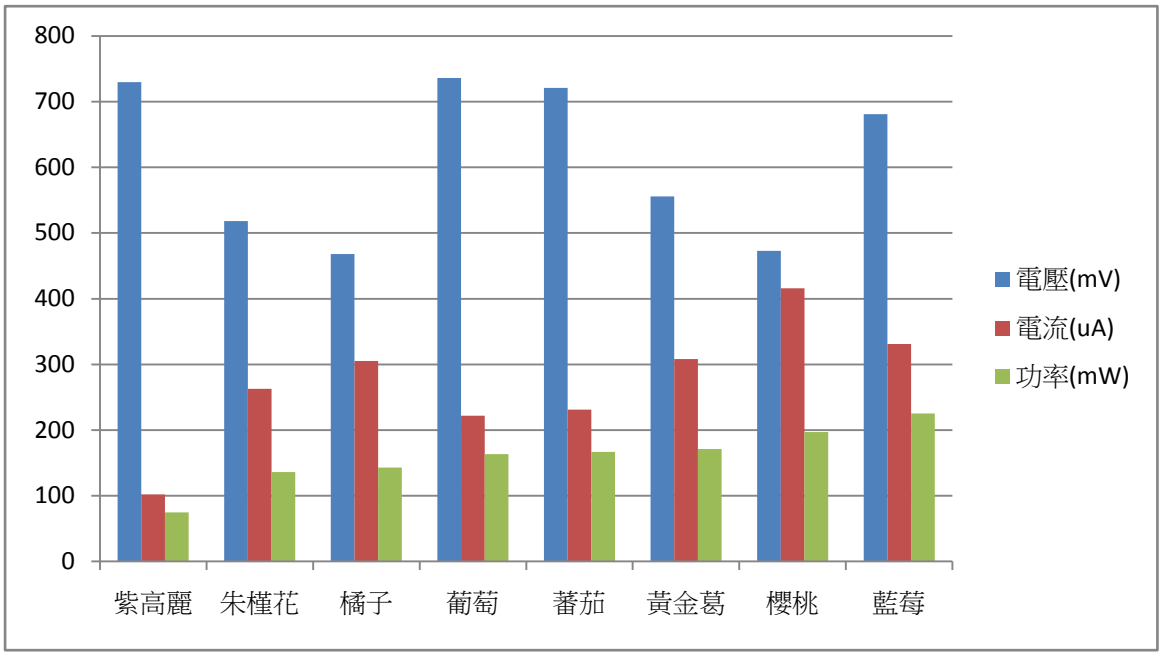


小結：

1. 以普通方法處理負極的二氧化鈦層，所得的發電功率最大 107.25 μW。

實驗七：色素種類對發電效益的關係

種類	紫高麗	朱槿花	橘子	葡萄	蕃茄	黃金葛	櫻桃	藍莓
顏色	藍	紅	橘	紫	橘	綠	紫	紫
電壓(mV)	730	518	468	736	721	556	473	681
電流(μA)	102	263	305	222	231	308	416	331
功率(μW)	74.460	136.234	142.740	163.392	166.551	171.248	196.768	225.411



小結：

1. 以藍莓汁有最大的發電功率 225.411 μW。

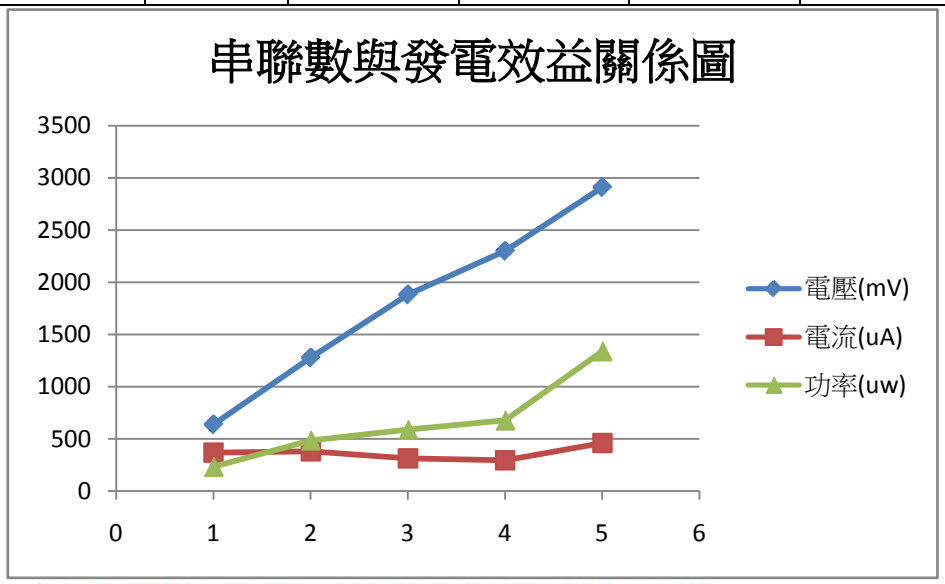
實驗八：利用串聯處理對發電效益的關係

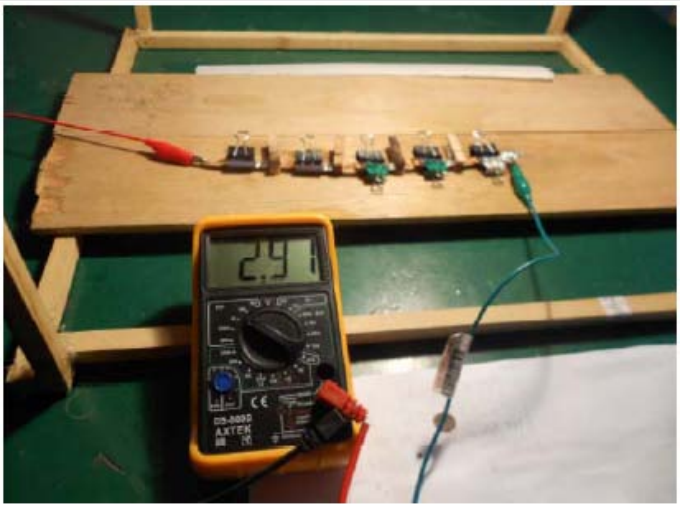
每一 Cell 的放電效益：

電池編號	1	2	3	4	5	5Cell 平均
電壓(mV)	640	615	594	468	658	595
電流(μA)	530	468	406	456	551	482
功率(μW)	339.20	287.82	241.16	213.41	362.56	288.83

藍莓色素

串聯數	1	2	3	4	5
電壓(mV)	638	1278	1882	2300	2910
電流(μA)	368	381	313	295	461
功率(μW)	234.78	486.92	589.07	678.50	1341.51





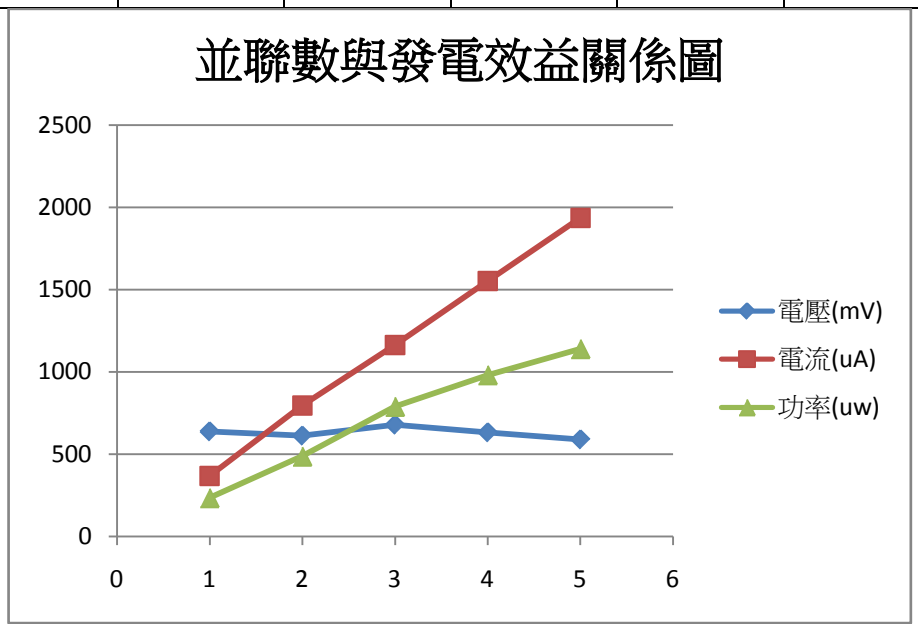
小結：

1. 電池串聯電壓與個數成正比。
2. 5Cell 的平均電壓為 595mV，5Cell 的串聯電壓為 2910mV。
3. 隨著串聯數增加，電流值有減少的趨勢，但變化不大。

實驗九：利用並聯處理對發電效益的關係

藍莓色素

並聯數	1	2	3	4	5
電壓(mV)	638	612	679	632	589
電流(μA)	368	796	1163	1553	1936
功率(μW)	234.78	487.15	789.68	981.50	1140.30



一、 小結：

1. 電池並聯總電流與個數成正比。
2. 5Cell 的並聯電流為 1936μA。
3. 隨著並聯數增加，電壓值變化不大。

實驗十：簡易製作的電極染敏電池是否可行

電池大小：5cm × 5cm

時間	剛組裝	三天	十天	三十天
電壓(mV)	726	636	637	608
電流(μA)	951	1480	1289	1335
功率(μW)	690.426	941.28	821.09	811.68

最高電壓：0.726V

最高電流：0.951μA

發電功率：690.426μW

小結：

1. 電極染敏電池確實可行，且具有持久性。

陸、 討論

討論一：為何分層處理的發電效益較高？

本實驗研究最初的想法是，把染敏電池所有的夾層混合後以方便的方式噴灑於導電載體來方便發電。但是從實驗一數據可以明顯知道，用噴的方式會導致夾層結構不夠穩定，例如：二氧化鈦的燒結效果降低使得葉綠素的附著不夠確實而增加了內電阻，因而大大的降低了導電效果。其次，電解質會因為過於乾燥而減低導電效果，最後碳黑層的附著不夠完整，明顯提升電阻值而降低發電效果。所以分層處理的發電效益較高。

討論二：如何提升發電效益？

我們重新檢視染敏電池的構造與原理，奈米二氧化鈦層其導電性非常不佳，而二氧化鈦層與導電玻璃要有緊密的附著必須要靠高溫的燒結，而我們的實驗室僅有簡易的酒精燈加熱並無恆溫的加熱板，所以改用手動式移動酒精燈，每次加熱 10 秒後停止加熱 30 秒，然後不斷的重複動作，待二氧化鈦乾燥後再持續透過隔著陶瓷纖維網加熱 20 秒。為了有效的燒結附著，我們試著使用 0.1g 二氧化鈦、4ml 酒精與 1 滴的稀醋酸混合溶解後研磨，所得的溶液稀薄恰可附著在導電玻璃上，取出烘乾。若附著不夠完整，則可以待烘乾後再將導電玻璃重新浸泡一次取出烘乾。就推論來說，太厚的二氧化鈦層不容易透光而且照光後產生的電子移動到導電玻璃的電阻太大，並且加熱時容易龜裂，所以我們建議用浸泡烘乾取得薄薄的二氧化鈦層即可。

另一方面染料照光後所產生的電子，其導電的路徑可能是散亂的，若能透過增加電極端的方式，應有可能使電子往有效的方向移動而有更大的發電效益，因此接下來我們透過增加不同活性的金屬電極，一方面作為導線、一方面增加電壓，來試著提升發電效益。

討論三：為何有加電極時發電功率會提升？

染料受到光的激發而產生電子，然而電子在移動時是沒有特定方向性的，透過不同活性的電極經由電解液的媒介作用後會產生電壓（電位差），因而有助於迫使電子在電池內部往同一方向移動。當電子移動的方向穩定後便會有較集中的電流提升，而電極本身也產生了較大的電位差，故整體而言發電功率會提升。實驗也證實了我們一開始假設不同電極會有較大發電功率的效果。

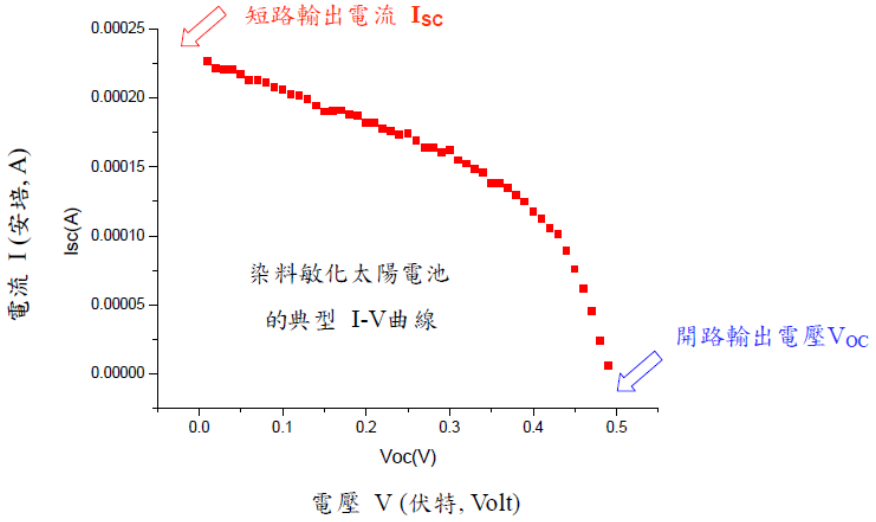
討論四：兩電極活性如何影響發電功率？

兩極活性差越大其造成的電位差應較大，因而會有較大的電壓值。本實驗中鋁銅電極(701mV)所產生的電壓較金屬無電極或鋁碳電極時的電壓(188mV)來得大。按理鎂銅電極所產生的電壓應該會更大，而本實驗二的結果卻略低於鋁銅電極。我們推測這是因為我們所使用的鎂帶

較銅箔厚，所以作為夾層的空隙比較大反而不利於電子或離子的移動。相對地，鋁箔比較薄，所以其發電功率較大。同時，鎂帶相較於鋁箔表面更容易氧化且有不穩定、鬆散的氧化物，所以電阻值較高、發電效率較低。因此接下來的實驗以鋁銅為電極進行實驗。

討論五：為何發電功率下降？如何再提升發電功率？

根據戴明鳳教授『奈米 TiO_2 晶粒和藍莓或覆盆子的汁液作為染料 DIY 製作染料敏化奈米晶化太陽電池』一文所提出的報告中指出，如下圖，其自製的染敏電池開路電壓最大約為 0.5V，短路電流約為 225 μA。



染料敏化 TiO_2 奈米晶太陽電池的實測 IV 特性曲線。

而在本研究中實驗二的最大電壓值為 1.456V、電流為 276 μA，因此可以證明金屬電極有提升發電功率的作用。同時也發現當照光時電壓下降時則電流提升相同的現象。從理論上來說，染料因受光產生了受激發的電子，而電子需要乾燥的環境來傳遞電能。當我們注入濕的電解液時，卻不利於電子的移動。而在實驗二中，我們所調配的電解液是利用無水乙醇溶解碘化鉀與碘晶體，因此電解液很容易就揮發乾。當電解液變乾之後的環境就有利於電子的移動，所以電流會增加。而濕的環境則有利於離子的移動，在電極方面來說，濕的電解液透過離子的溝通才有電位差的作用。值得注意的是，我們所使用的是無水乙醇配得的電解液，而其中若有水，可能是來自於溶解葉綠素時從葉子中溶解出來的水。

在戴教授的報告中指出，其電解液是先泡成水溶液再溶解於酒精中，因此這引起我們對『水』的注意，或許在電解液中參與足量的水可能會提升電解液的作用，一來可以避免過快的揮發乾燥，二來可以提升離子的傳遞效果。我們可能會擔心，『濕』的環境導致電子不利的傳遞，但是從二氧化鈦緊密附著在導電玻璃的情況來說，電子的移動僅需在

二氧化鈦層與導電玻璃間的距離，其餘的部分則經由電解液中的離子導電，因此仍有可能保有較高的電流優勢。所以**電解液中水濃度多少**與**如何封裝電解液**而不會揮發變成了重要的研究因素。同時戴教授所使用的導電玻璃尺寸為 200mm*150mm，而本研究實驗二中所使用的尺寸為 20mm*10mm，雖然轉換率與導電玻璃面積大小無關，但總發電功率也許有很大的影響，這個面積的因素也值得我們探討。

接下來的實驗研究，我們把飽和的碘化鉀與碘的酒精溶液與水做不同比例的混合，找出電解液中最佳的水濃度使發電功率增加。為了方便研究，我們以最有把握組裝的鋁銅電極進行研究。

討論六：為何加水會有較好的效果？

碘化鉀與碘雖然可以溶解於乙醇但無法形成離子因此不利於導電，而且酒精溶液揮發較快而成為乾燥環境，不利離子流動。而相對地，水溶液有助於導電且較不易揮發，所以加了水後電子與離子的流通量都會相對增加，電功率也會隨之增加。

在電流方面：我們可以發現增加水溶液後其電流值提高，隨著照光時間變長，其電流量增加，推論是因為有較多的離子在水溶液中傳遞因此增加電流。但是在末期則時因為溶液揮發變乾燥，而不利於離子流動所以電流值下降，也因此適當的水濃度也扮演著重要的角色。或許在配置電解液時，我們可以先用水與碘化鉀配成飽和溶液再與飽和的碘酒精溶液互相溶解，所得的電解液會有最大的發電功率。

在電壓方面：電壓值從照光開始的變化並不因為水溶液濃度而有太大的變化，因而電壓的提升應該回歸到產生電壓的電極問題。

討論七：導電路徑如何影響電流的問題？

在這個實驗提醒了我們去思考導電路徑的問題，許多的文獻中都會探討染敏電池電阻值的問題。而我們的研究為了使鋁、銅兩種金屬片在分層絕緣的情況下，所以使用了顯微鏡的蓋玻片來確保與導電玻璃的絕緣，因此上下兩片導電玻璃的距離會因為兩片金屬、蓋玻片的厚度而較大，而這樣較大的距離確實產生了較大的電阻，而影響了電流的產生。怪不得當我們用力『**緊壓**』兩片導電玻璃時會有較高的電流。因此接下來在實驗五時，我們改用膠帶先貼在金屬片的一面，來替代較厚的蓋玻片。同時先用沙紙將銅片磨得較薄一些，使得兩片金屬片較無厚度差異。為了避免上下兩片導電玻璃層有短路的接觸，我們使用四層的透明膠帶貼於金屬片上進行實驗。

在這個實驗研究中我們利用鋁、銅兩金屬不同的活性來增加電壓，驅使電子在移動的過程有較為固定的方向，但難保電子移動仍是散亂的。因此接下來，我們利用帶電粒子在磁場中移動時，若移動的方向與外加磁場方向有夾角時便會受到磁力的作用而轉向的特性。以強力磁鐵來進行下一個研究，期望能夠再提供磁場的情況下，使得帶電的

粒子移動更有方向性，而能有較大的電流產生。

討論八：為何外加磁場時發電電壓與電流較為穩定？

當我們外加磁場時，帶電的粒子會因為磁力的作用而有固定的流動方向，例如負電荷向上，相對地正電荷向下。如此得帶電粒子不會隨意的移動，因此會有較為穩定的電流輸出。在電壓值方面是沒什麼影響的。

討論九：為何外加磁場時發電功率較為下降？

在電池中的帶電粒子，有的是受激發產生的電子，有的是電解質中的離子。在電池的構造中帶電的粒子有時是需要從上而下的移動，有時需要往左右兩側的電極端移動。當外加磁場存在時，僅僅允許電荷往某一方向運動，因此有利於上下移動時，便不利於左右水平方向的移動，因此電流較低。同時也可能不利於受激發的電子產生，因而降低了許多的電壓。

在此我們需要更專注於電流與電壓的產生機制上，接下來我們首先探討電池正極端的結構部分，分別使用蠟燭碳黑、鉛筆石墨、奈米碳黑溶液進行正極端的鍍膜改變，了解其發電效益的不同。

討論十：正極處理為何會影響電流大小，而對電壓較無影響？

電池的正極為碳黑具有活化電解質產生離子的作用，但是從實驗中可以了解碳黑的導電性並不高，增加了電池的內電阻，對產生更大電壓是沒有影響的，但是電阻的提升會降低輸出的電流。本實驗中以導電性較高的鉛筆石墨代替碳黑，在放電一段時間後（約 6 分鐘後）的數據顯示會有較大的電流產生，因此以石墨代替碳黑有助於產生更大的電流輸出。但是因為鉛筆塗層與鉛筆軟硬度、石墨含量、塗佈方式有很大的影響，且不容易控制。就本實驗研究的數據而建議，可以使用鉛筆的塗層後再燻上蠟燭碳黑（薄碳黑即可），便可以提高許多的發電電流。在業界的太陽能晶片會使用奈米級鉑漿鍍層在正極導電玻璃上，這與我們的實驗結果不謀而合。因為鉑的活性小很適合當正極塗層，同時具有催化電解質的作用。因此正極處理，除了活性影響外，基本上是影響電池內電阻大小，間接影響輸出電流，而對電壓較無關係，同時具有活化電解質的功能。換句話說，如何使電池內電阻變小，便能產生較大的電流。另外，兩種不同金屬的電極片擺放的距離很有可能影響內電阻的大小，因為電極片的擺放位置在透光層的下方並不影響照光，因此我們強烈的建議這兩個金屬片儘量靠近，以減少內電阻而增加發電電流。在研究後期，我們將鋁、銅片盡量靠近後所測得到的最大電流為 1118 μA、電壓 1036mV、電功率 1158.248 μW。

相對地，電壓的影響則應該在負極端的處理，二氧化鈦層與染劑本身受光激發產生電子電洞對的關係上。因此接下來我們針對負極端處理，以便了解負極端最佳的處理方式，產生更大的電壓。

討論十一：關於噴式的太陽能電池的組裝應用？

在這個實驗研究中，我們可以發現，正極的碳黑部分的功用是催化電解質，而在實驗數據上也顯示事先將碳黑溶於電解液中進行組裝是可行的。因此，若我們想要用噴的方式來製作一個太陽能電池，其電解液的部分就可以事先溶入奈米碳黑。正極端的處理上，我們可以使用導電紙、導電膠帶，在其上方塗一層石墨，再噴上電解液即可組裝。

討論十二：負極處理如何影響發電功率？

本實驗最初的假想是添加市售的二氧化鈦奈米溶液來增加染料的吸附，用來提高發電功率。但是在這個實驗結果我們可以發現，添加二氧化鈦奈米溶液可能與我們自製的奈米二氧化鈦溶液並非均勻的混合，造成燒結附著時比較容易龜裂，因而大大的影響導電性與發電功率。

另一方面，市售的奈米二氧化鈦溶液在導電玻璃上其塗層太薄、附著性不良，在拼裝上、添加電解液時容易遭到破壞，所以使得夾層物質無法區分兩極的導電玻璃，因而有短路的現象，這使得發電電壓與功率降低許多。

本實驗研究二氧化鈦層的附著方式是『將導電玻璃浸泡於溶液→取出烘乾→燒結』而成，其附著層較薄。在加溫的過程稍不注意便容易龜裂，因此接下來的實驗中，我們使用濃度較高的二氧化鈦溶液浸泡，加熱燒結的溫度提升再緩慢些，來獲得較厚、較完整的負極層。

討論十三：負極處理對新型電池的啟發？

二氧化鈦層的目的是吸附染料與吸收光，以溶液燒結的處理來看，無論如何進行層次處理都無法進行彎曲，因為粉體會碎裂。而上層的導電玻璃除了提供電子電洞對外，最重要的就是導電功能。在實驗過程看見陶瓷纖維網給予了一個靈感：我們可以使用細網目的鋁絲網浸泡二氧化鈦溶液，乾燥後高溫烘烤，再給予染料吸附便可以做出一個具有導電性的負極端。推論上，雖然沒有像導電玻璃層可以產生電子電洞對，但是一樣具有導電與收集電子的功能，並且可以直接受光。

討論十四：哪種色素對染敏電池有較好的發電效益？

從文獻顯示，含有花青素的染劑會有較好的發電功率，本實驗研究也正好如此。實驗結果可能與光波長有關，而本實驗研究所使用的是150W 鎢絲燈泡，其發光的波長為偏紅色的可見光，因此實際照射紫色可見光、紫外光或陽光應會有更大的發電功率產生。不過這個實驗充分顯示，兩極使用金屬電極在不同色素的情況下仍有發電的效益，因此我們強烈的建議使用不同金屬的電極來增加染敏電池發光功率。

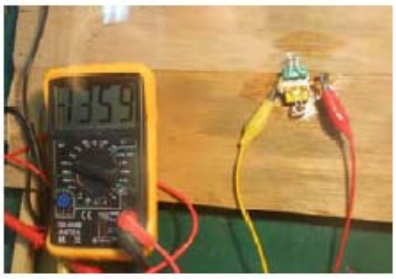
另外，色素在粹取的過程中無法定量的控制，因此發電效益有可能是某種色素濃度較高的影響。在本實驗中，我們只能假設二氧化鈦層在固定的面積下能夠吸收的染料是量相同的，而我們可以使用長時間

的浸泡染料用來減少濃度造成的差異。

討論十五：電池串聯時有何得與失？

從數據上可以得知，電池單元的串聯數與電壓成正比，因此使用越多的電池單元其電壓越高。但是，在電流方面，其電流值變動不大，而與電池單元串聯數的增加略有下降。這可能是因為電池單元串聯數越多，其電阻越大，所以使用串聯時應注意內電阻降低電流的影響。

討論十六：電池並聯時有何得與失？



從實驗結果顯示，電池並聯越多其總電流越大。換個角度思考，這可能與電池的總面積有關，在其他文獻中也可以發現輸出電流與面積有正相關。這樣的結果正好可以解釋為什麼我們的實驗電流總是不大，因為我們只使用了 10mm×20mm 大小的導電玻璃而已。當並聯數越多所需要的空間就越大，這樣的研究結果與文獻的結果相同。

但是，我們使用鋁銅為電極並且電極緊密時，單一 Cell 的最大電流為為 1118 μA、電壓 1036mV、電功率 1158.248 μW。若改以鎂銅為電極，單一 Cell 的最大電流為 1965 μA、電壓 1776mV、電功率 3489.172 μW≒3.5mW。而市售的 LED 燈泡（1.8V/15mA）其功率為 27mW，因此以鎂銅電極的染敏電池而言，我們需八個電池單元並聯，相較於其他的染敏電池高出許多功率，因而可以節省許多電池空間。

最後，這樣的電極染敏電池其電極具有導電性，可以免去導電玻璃難以取得與高貴的問題，因此接下來實驗十我們試著使用電極來製作簡易的染敏電池，並測試其可行性。

柒、 結論

太陽能電池的特性在於需要一定波長的光來進行電子的激發，而染敏太陽能電池需要染料的協助來激發電子，但因為沒有金屬電極而未能有方向性效率的移動。透過金屬電極與染敏電池的結合，變成有固定電極的染料敏化電池。實驗成品比其他種電池還要方便、便宜，並且製作簡單，在未來真的發展出成品時是個良好的選擇。最重要的是『電極式可撓染敏電池』的電功率並不小於單純使用導電玻璃的染敏電池，這代表了『電極式染敏電池』是可行的，而實驗也發現只要持續加入電解液或封存好電解液便可持續發電，但在體積方面卻有了數倍之差。正常來說，使用導電玻璃 10x20mm 這樣小的尺寸電壓就可以達到如此高地電功率，如果使用 5x5cm 尺寸的電極染敏電池，那發電功率可想而。總合以上可以做出下列結論：

一、 分層處理的染敏電池其發電效益較高。

二、 負極端的處理以適當濃度的二氧化鈦溶液浸泡取得薄層附著，可增加透光度、減少電阻、提升發電功率。

三、 正極端的處理可以使用石墨鉛筆進行塗抹後，再透過蠟燭燻上薄碳黑可以提升發電功率。

四、 利用不同活性電極金屬，且盡量將金屬片靠近可以產生較大的發電功率，效果顯著，且電極活性差越大越好。

五、 電解液濃度應含有適當的水量可以有較好的導電效果，本研究建議水濃度為 10~25%之間。

六、 使用不同活性金屬為電極應注意短路問題，並確保兩極間的距離，使用膠帶可以輕鬆的製得電極式染敏電池。

七、 外加磁場可以穩定發電電壓，但電流會下降，對於發電功率影響不大。

八、 色素含有花青素的染料有較大的發電功率，與一般文獻相同。

九、 電池串聯可以增加電壓，電池並聯可以增加電流。

十、 本研究以 10×20mm 的導電玻璃、以鎂銅為電極，單一 Cell 所得最大電流為 1965 μA、電壓 1776mV、電功率 3489.172 μW≒3.5mW。

十一、 以市售的抽油煙機鋁質濾網、石墨塗層、銅片可以簡易製得電極式可撓染敏電池，實驗所製的 50×50mm 的鋁銅電極式可撓染敏電池，擺放 30 天仍可產生電壓 606mV、1335 μA、電功率 811.16 μW。

捌、 建議

一、塗漆摻入奈米金屬粒子的影響

在中華民國第 52 屆全國中小學科展高職組化工科第一名作品說明書『發電吧！太陽能彩「漆」』，內容提及摻入奈米銀粒子可以有效的提升發電效率。就本研究推論的建議而言，在負極端的二氧化鈦、染料塗漆上若摻入活性較大的金屬奈米粒子，而在正極端以銅片為導線說不定可以產生較大的發電功率。因此塗漆中摻入什麼樣的奈米金屬值得作為以後的研究。同時，負極端使用銅容易氧化或變質成銅綠、銅鏽，因此建議使用活性更低鉑金屬或鉑合金，只是相對上價格較為貴重。

二、可撓式的電池組裝

在本研究中，我們利用抽油煙機的鋁質濾網、與鉛筆塗抹的銅片已經能成功的製造出簡易的電極式染敏電池。在過程中要封存電解液不是一件容易的事，在文獻上有使用 AB 膠進行封存會有良好的保存效果，但是 AB 膠融合後會硬化又使得組裝的電池不可撓，所以電解液的封存變成為一個重要的課題，可作為以後的研究建議。

玖、 參考資料

1. 戴明鳳（民 95 年），DIY TiO_2 染料敏化電池製作，清華大學論文，未出版。
2. 呂宗昕、吳偉宏，奈米科技與二氧化鈦光觸媒，科學發展 376 期
3. 蘇建華（民 92 年），生物系統中的電子轉移反應，中華技術學院生物科技系論文。
4. 藤嶋昭，渡部俊也，喬木和仁(合編)，圖解光觸媒，世茂出版社。
5. 李明柔等（民 102），發電吧！太陽能彩「漆」，中華民國第 52 屆全國中小學科展作品說明書高職組化工科第一名。
6. 廖志勳，綠色能源--淺探葉綠素轉換機制的應用構想， (未出版)，國立台中一中小論文。
7. 林鵬，新型葉綠素電池的研究與開發，中華民國第49屆中小學科學展覽會作品說明書高中組生活與應用科學科

【評語】030217

本作品係探討結合不同活性金屬作為電極，探討染敏電池的功效。有一些實驗成果，若能有電池與染敏電池的加成效果，將更能突顯此作品的優點。