

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 化學科

030203

神奇水凝膠

學校名稱：臺北市立龍門國民中學

作者： 國二 陳識心 國二 連亮淇	指導老師： 陳英杰
-------------------------	--------------

關鍵詞：水凝膠、氧化鋅、氧化還原

摘要

本研究以方便取得的材料及簡易的操作程序，發展新穎且對環境無害的氧化鋅凝膠製備法。實驗首先尋找製備氧化鋅凝膠的方法，接著探討影響凝膠形成的因素，包括電解質種類、電解液濃度、電解液添加酸或鹼、外加磁場以及反應金屬的形狀等。最後針對製備的氧化鋅凝膠進行吸水性、紫外線遮蔽程度、導電性及發電效果等測試。研究結果顯示，鋅線圈與表面為氧化銅之銅線圈於食鹽水中反應速率較快，是製備氧化鋅凝膠的較佳方式。氧化鋅凝膠可吸收自身質量一倍以上的水，能遮蔽 75% 以上的紫外線。另外，氧化鋅凝膠發電最高電壓可達 140 毫伏特，最大電流可達 70 微安培。本研究能以簡易方式製備氧化鋅凝膠，具有推廣及應用的價值。

壹、研究動機

去年暑期科學營進行伏打電池實驗後，實驗的鋅片留在食鹽水中忘記清洗，隔天發現鋅片附近出現白色的絲狀物質。這些絲狀物質是什麼？為什麼會出現？什麼因素可能影響它的出現？我們對這些不明絲狀物質充滿好奇。於是我們就利用課後時間查閱資料後，發現可能是氧化鋅，接著利用八下自然課所學到的氧化與還原的原理來做進一步實驗，嘗試解答我們所提出的種種疑問。

貳、研究目的

- 一、 尋找製備氧化鋅凝膠的適當方法
- 二、 探討影響氧化鋅凝膠生成的因素
- 三、 分析氧化鋅凝膠的特性及其應用
- 四、 以置換反應製作各種金屬鹽凝膠

參、研究設備及器材

電子秤	濕度計	溫度計	三用電錶	微安培計	紫外線強度計	酸鹼度測定計
燒杯	噴火槍	瓦斯爐	烤箱	酒精燈	培養皿	強力磁鐵
保鮮膜	水彩調色盤	滴管	量瓶	鋅粉	鋅粒	鋅片
銅片	鋁片	鎳片	鐵片	鋅線圈	銅線圈	氧化銅
硝酸鈉	硝酸鉀	氯化鈉	氯化鉀	水	鹽酸	氫氧化鈉

肆、研究過程與結果

基於研究目的，本實驗設計分為四大部分，第一部分為尋找製備氧化鋅凝膠的適當方法，共有6個實驗；第二部分探討影響氧化鋅凝膠生成的因素，共有5個實驗；第三部分為分析氧化鋅凝膠的特性及其應用，共有4個實驗；第四部分為利用金屬置換反應製作各種金屬鹽凝膠。

第一部分：尋找製備氧化鋅凝膠的適當方法

實驗一、鋅片或鋅粒與氯化鈉水溶液之反應

(一) 實驗步驟

- 1.取兩個培養皿，分別倒入70mL濃度為1.0M的氯化鈉水溶液。
- 2.將已磨光的鋅片(1cm×10cm)放入一個培養皿中，再將已磨光的鋅粒放入另一個培養皿中，並使鋅片與鋅粒完全沒入液中。
- 3.靜置並持續觀察6小時、記錄其變化，1週後觀察結果。

(二) 實驗結果

- 1.6小時後，兩個培養皿皆有少量白色物質生成，但鋅粒生成速率明顯較慢。
- 2.經過1週後，鋅粒與鋅片的白色物質呈現霧狀。

(三) 結果分析

鋅片及鋅粒長時間浸泡在氯化鈉水溶液中皆可產生氧化鋅，如圖1及圖2。

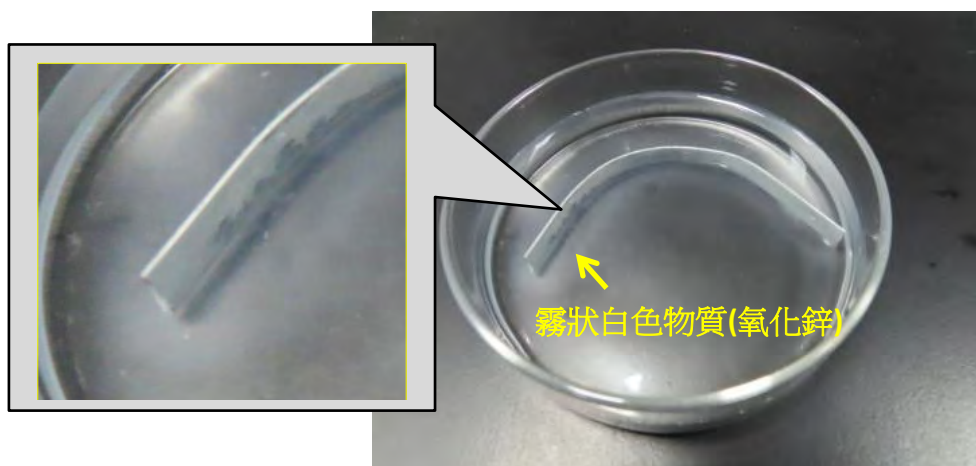


圖1 鋅片完全浸泡在氯化鈉水溶液中1週後之情形

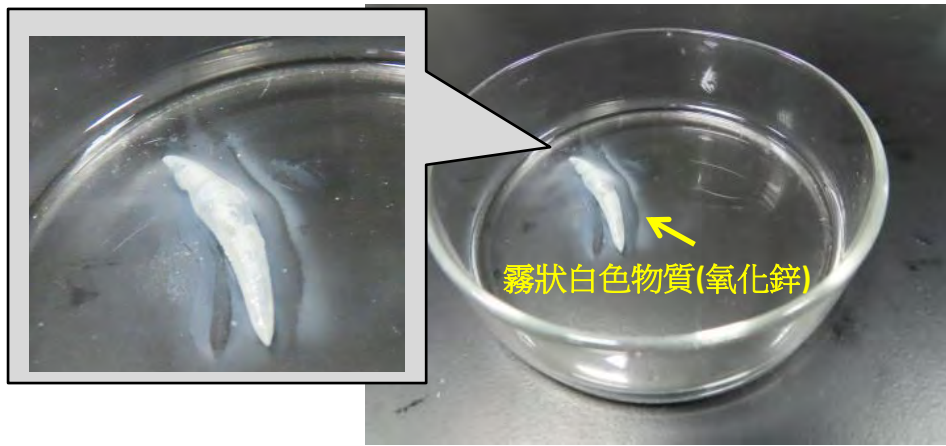


圖2 鋅粒完全浸泡在氯化鈉水溶液中1週後之情形

實驗二、部分鋅片露出氯化鈉水溶液之反應

(一) 實驗步驟

- 1.調配濃度1.0M的氯化鈉水溶液50mL，倒入培養皿中。
- 2.將磨光的鋅片(1cm×10cm)置於培養皿中，使部分鋅片露出液面。
- 3.靜置並持續觀察6小時、記錄其變化，24小時以及1週後再觀察結果。

(二) 實驗結果

6小時後鋅片周圍產生白色的氧化鋅，24小時後彎曲處有絲狀的氧化鋅出現，如圖3，1週後有更多的氧化鋅生成，且擴散至整個培養皿，如圖4。

(三) 結果分析

本實驗之鋅片有一部分露出液面與空氣接觸，白色氧化鋅之生成速率較實驗一鋅片完全沒入水中快。

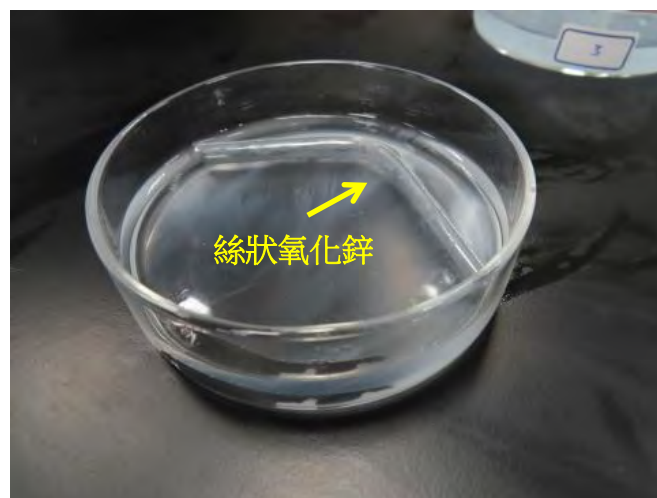


圖3 鋅片與氯化鈉水溶液反應24小時後之情形

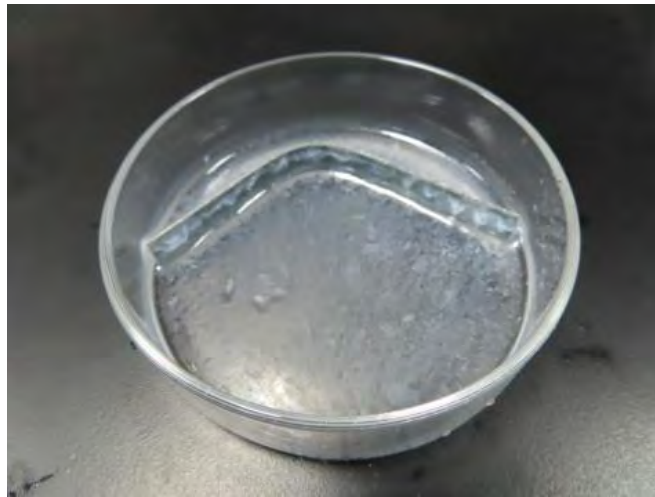


圖4 鋅片與氯化鈉水溶液反應1週後之情形

實驗三、鋅粉與氧化銅粉於氯化鈉水溶液中反應

(一) 實驗步驟

- 1.調配濃度1.0M的氯化鈉水溶液50mL，並置於100mL燒杯中。
- 2.取鋅粉及氧化銅粉各一刮勺加入氯化鈉水溶液中，並加以攪拌。
- 3.靜置並持續觀察6小時、記錄其變化，24小時後再觀察結果。

(二) 實驗結果

- 1.反應開始後，有氣泡產生。
- 2.6小時後，鋅粉及氧化銅粉間產生白色物質。
- 3.經過24小時，燒杯底部有紅色物質沉澱，且有鋅粉及氧化銅粉殘留，如圖5。

(三) 結果分析

- 1.白色物質為氧化鋅，紅色沉澱為銅。
- 2.24小時後仍有鋅粉及氧化銅粉殘留，顯示反應速率慢。

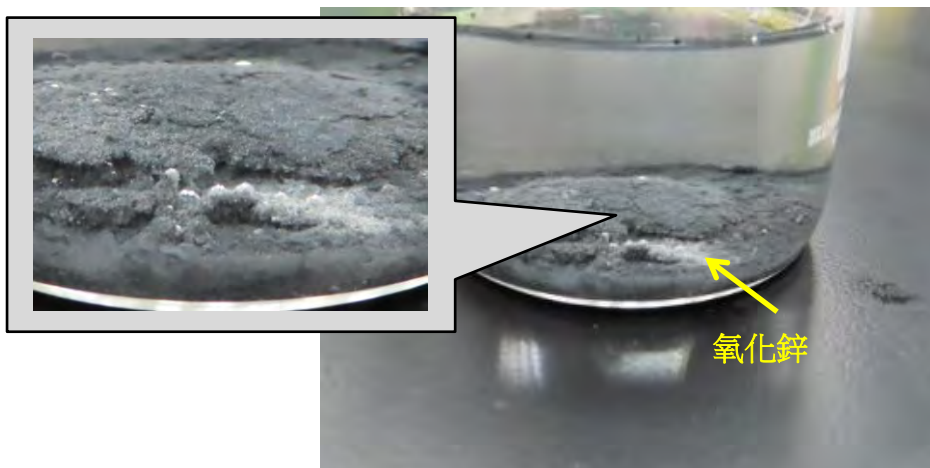


圖5 鋅粉與氧化銅粉於氯化鈉水溶液中反應之情形

實驗四、鋅片與氧化銅粉於氯化鈉水溶液中反應

(一) 實驗步驟

1. 鋅片(1cm×10cm)與氧化銅粉於培養皿中反應

- (1)調配濃度1.0M的氯化鈉水溶液50mL，置於培養皿中。
- (2)取2g氧化銅粉(0.025mole)，加入氯化鈉水溶液中並加以攪拌。
- (3)將3.8g已磨光的鋅片(1cm×10cm)置於溶液中，如圖6。
- (4)靜置並持續觀察6小時、記錄其變化，24小時後再觀察結果。

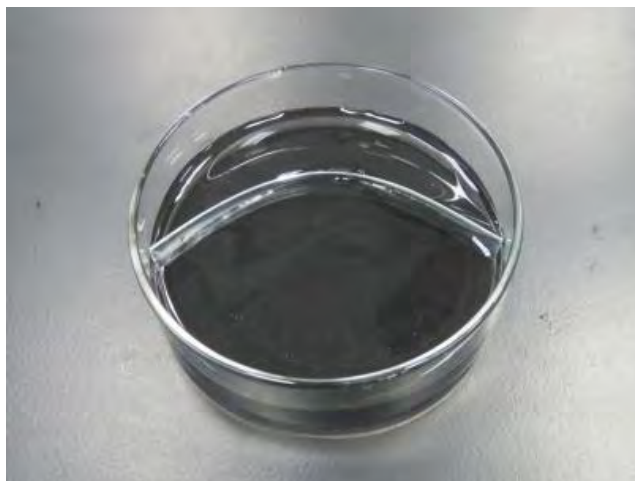


圖6 鋅片(1cmx10cm)於培養皿中擺設情形

2. 鋅片(1cmx10cm)與氧化銅粉於燒杯中反應

- (1)調配濃度1.0M的氯化鈉水溶液50mL，置於100mL燒杯中。
- (2)取2g氧化銅粉(0.025mole)，分別加入氯化鈉水溶液中並加以攪拌。
- (3)將3.8g已磨光的鋅片(1cm×10cm)置於溶液中並靜置持續觀察6小時、記錄其變化，24小時後再觀察結果。

(二) 實驗結果

- 1.起初鋅片表面皆產生白色物質，6小時後有白色絲狀物生成。
- 2.經過24小時後，液面明顯有大量的膠狀物，如圖7及圖8。
- 3.1週後，膠狀物皆有向四周擴散延伸之情形，而浸泡於液中之鋅片厚度明顯變薄，且容器底部有紅色物質沉澱。

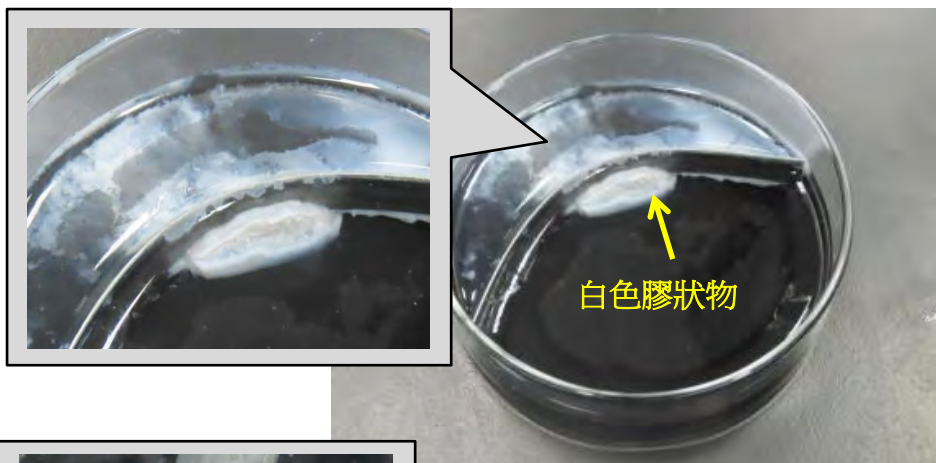


圖7 第二組反應24小時之結果

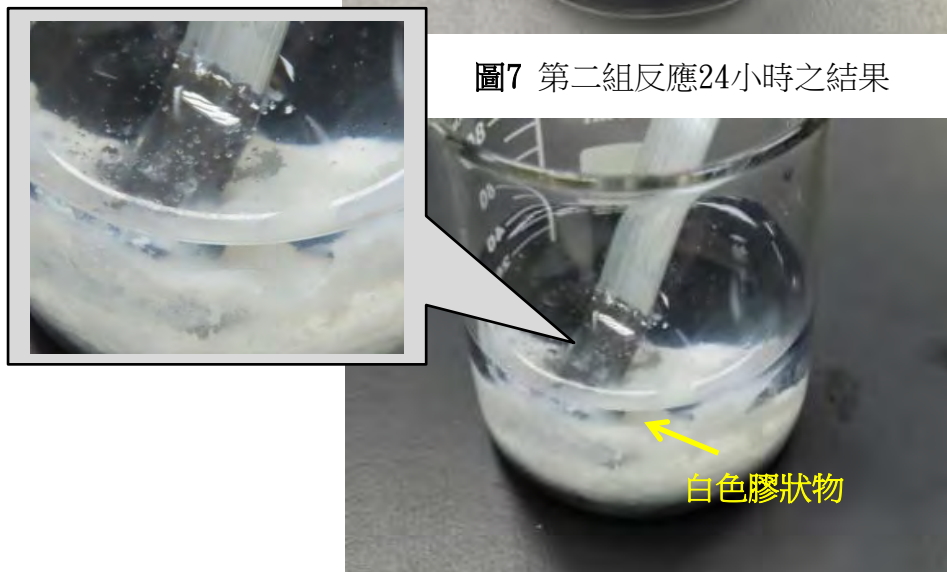


圖8 第三組反應24小時之結果

(三) 結果分析

1. 鋅片與氧化銅粉反應所生成的氧化鋅數量明顯比實驗三使用鋅粉時多。
2. 1週之後，容器底部紅色沉澱物質為銅。

實驗五、銅片、鋅片與表面氧化之銅片於氯化鈉水溶液中反應

(一) 實驗步驟

1. 取三個100mL的燒杯，每個燒杯倒入濃度1.0M的氯化鈉水溶液60mL，另取三片已磨光的鋅片(3cm×5cm)，表面磨光後分別秤重。
2. 第一組的燒杯內置入鋅片；第二組的燒杯內置入鋅片與銅片(3cm×5cm)。
3. 利用丁烷噴火槍將銅片(3cm×5cm)表面加熱，使其表面產生黑色氧化銅，如圖9和圖10，冷卻後再將其與鋅片放置於第三組燒杯內。
4. 先將第二組燒杯內的鋅片與銅片以導線連接，再將第三組燒杯內的鋅片與表面為氧化銅的銅片以導線連接
5. 將三組燒杯靜置並持續觀察，並記錄其變化，如圖11。72小時後取出鋅片，清洗乾燥後秤重，比較其結果。



圖9 使用噴火槍加熱銅片表面之情形



圖10 經噴火槍加熱，表面氧化的銅片

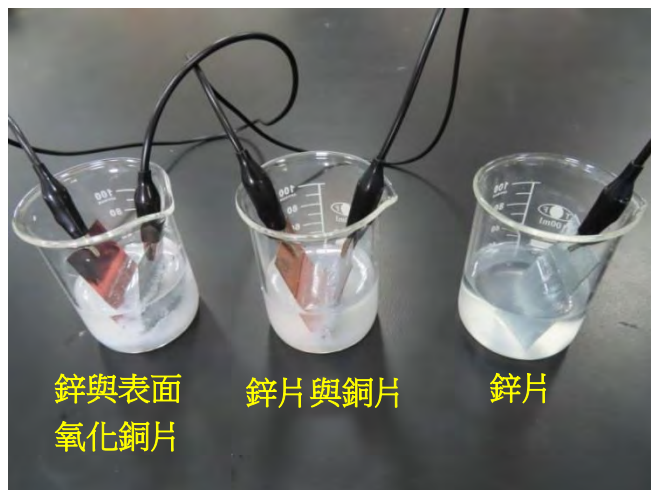


圖11 三組實驗反應72小時之情形

(二) 實驗結果

24小時後，三組皆有凝膠生成。72小時後，錳片質量變化如下表1、圖12，第一組的錳片質量減輕最少，第三組的錳片質量減輕最多。

表1 鋅片、鋅片與銅片、鋅片與表面氧化銅片反應後鋅片質量之變化

組別	反應前鋅片質量(g)	反應後鋅片質量(g)	鋅片減少質量(g)
第一組:鋅片	5.60	5.59	0.01
第二組:鋅片與銅片	5.62	5.47	0.15
第三組:鋅與表面氧化銅片	5.59	5.36	0.23

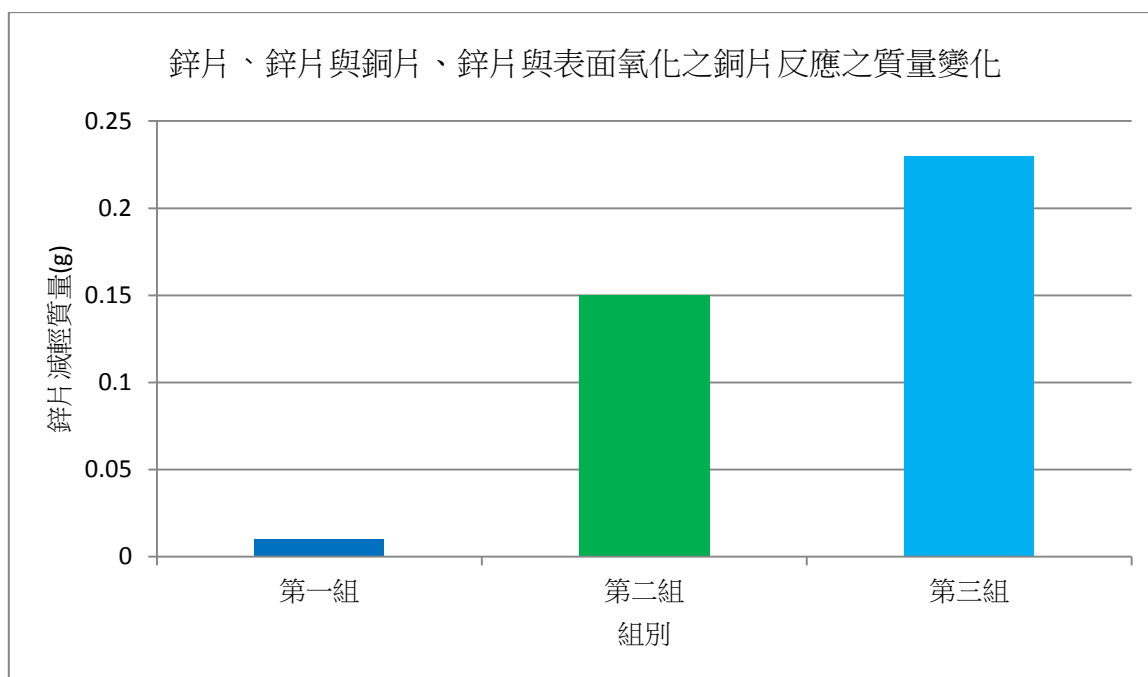


圖12 鋅片與銅片、鋅片與表面氧化之銅片反應鋅片減輕質量

(三) 結果分析

三組燒杯內皆有凝膠生成，第三組鋅片質量減少最多，表示其生成凝膠的速率最大。

實驗六、鋅線圈與表面氧化之銅線圈於氯化鈉水溶液中反應

(一) 實驗步驟

- 1.取一組鋅線圈與一組銅線圈，利用砂紙將其表面磨光。
- 2.調配濃度1.0M的氯化鈉水溶液500mL，倒入800mL的玻璃瓶中。
- 3.利用丁烷噴火槍將銅線圈表面加熱，使其表面產生黑色氧化銅。
- 4.將鋅線圈與表面氧化銅線圈置於瓶中，且互相接觸。
- 5.靜置並持續觀察3小時、記錄其變化，24小時後再觀察其結果。

(二) 實驗結果

1. 鋅線圈30分鐘後生成氧化鋅凝膠，經過1小時逐漸擴散延伸至銅線圈。
2. 24小時後，凝膠沉降至瓶子底部，如圖13。

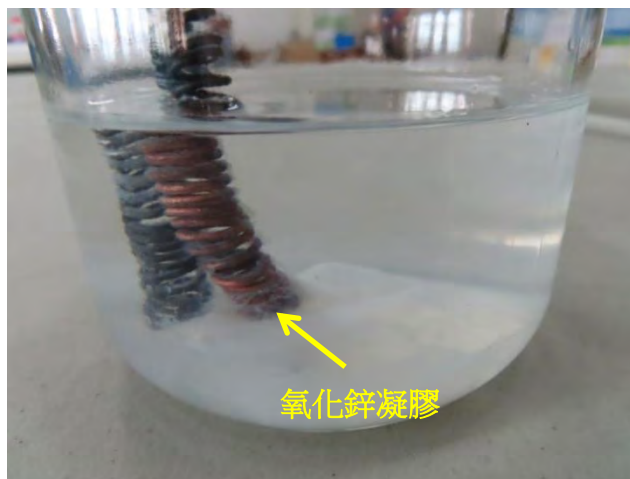


圖13 鋅線圈及表面為氧化銅之銅線圈反應情形

(三) 結果分析

1. 鋅線圈及表面氧化銅線圈產出的凝膠較實驗五中鋅片及表面氧化銅片多。
2. 當浸泡在溶液中的氧化銅被反應完，氧化鋅凝膠生成速率明顯變慢。

第二部分：探討各種變因對氧化鋅凝膠生成的影響

實驗七、不同濃度的電解質溶液對氧化鋅凝膠生成的影響

(一) 實驗步驟

1. 調配三份濃度分別為0.5M，1.0M，1.5M的氯化鈉水溶液50mL，並分別倒入三個100mL燒杯中。
2. 將磨光且秤重後的三組鋅片（1cm×10cm）及加熱過的表面氧化銅片（1cm×10cm），分別置於燒杯中，鋅片與表面氧化的銅片互相接觸。
3. 靜置並錄影持續觀察3小時，3天後取出清洗並烘乾秤重。

(二) 實驗結果

經過3小時後，三組都產生氧化鋅凝膠，結果如下表2。

表2 鋅片在不同濃度氯化鈉溶液中反應的質量變化

氯化鈉濃度	鋅片原質量(g)	鋅片反應後質量(g)	鋅片減輕質量(g)
0.5M	5.66	5.46	0.20
1.0M	5.61	5.40	0.21
5.0M	5.57	5.36	0.21

(三) 結果分析

3天後鋅片減輕的質量介於0.20公克及0.21公克之間，並無顯著差距。由於電解質溶液濃度對氧化鋅的生成無明顯的影響，所以在進行後續實驗時，我們都使用濃度1.0M的鹽類溶液。

實驗八、不同種類的電解質溶液對氧化鋅凝膠生成的影響

(一) 實驗步驟

- 1.分別配置1.0M的氯化鈉、硝酸鈉、氯化鉀、硝酸鉀溶液各50mL，並倒入四個100mL的燒杯中。
- 2.準備四組已經磨光且秤重的鋅片以及加熱過的表面氧化銅片，分別置於燒杯中進行反應。
- 3.靜置3天後，取出鋅片，清洗後乾燥秤重，並比較四組鋅片所減輕的質量。

(二) 實驗結果

四組皆可產生氧化鋅凝膠，但以氯化鈉這組鋅片質量減少最多，結果如表3、圖14。

表3 鋅片在不同鹽類溶液中反應質量的變化

溶質種類	原鋅片質量(g)	反應後鋅片質量(g)	鋅片減輕質量(g)
NaCl	5.61	4.38	1.23
NaNO ₃	5.67	5.09	0.58
KCl	5.65	4.47	1.18
KNO ₃	5.62	5.00	0.62

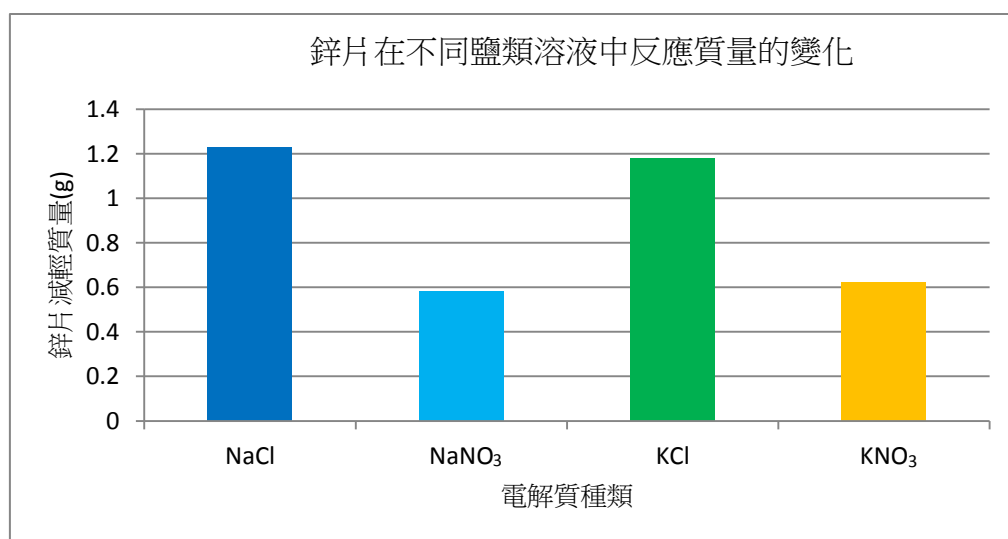


圖14 鋅片在不同鹽類溶液中反應減輕的質量

(三)結果分析

- 1.四組中以氯化鈉溶液的鋅片質量減少最多，代表其生成的氧化鋅最多且反應速率最大。
- 2.含有氯離子的氯化鈉及氯化鉀溶液氧化鋅凝膠生成的平均速率較快。

實驗九、電解質溶液添加酸、鹼對氧化鋅凝膠生成的影響

(一)實驗步驟

1. 配置氯化鈉水溶液210mL，並在三個燒杯中各裝入70mL。
2. 將第一組燒杯放入(3cm×5cm) 已磨光的鋅片與燒製好的(3cm×5cm)表面氧化銅片，並滴入數滴鹽酸使溶液pH值為3。第二組燒杯放入(3cm×5cm)鋅片與燒製好的(3cm×5cm)表面氧化銅片，並滴入數滴氫氧化鈉使溶液pH值為11。第三組燒杯放入(3cm×5cm)鋅片與燒製好的(3cm×5cm)表面氧化銅片，溶液pH值為7。
3. 靜置並持續觀察並記錄其變化，72小時後取出鋅片清洗乾燥後秤重。

(二)實驗結果

三組皆有凝膠產生，且鋅表面有氣泡產生，鋅片質量變化如下表4及圖15。

表4 電解質溶液添加酸、鹼3天後鋅片質量的變化

組別	鋅原質量(g)	鋅反應後質量(g)	減輕質量(g)
第一組(pH=3)	3.56	3.46	0.10
第二組(pH=11)	3.62	3.34	0.28
第三組(pH=7)	3.67	3.51	0.16

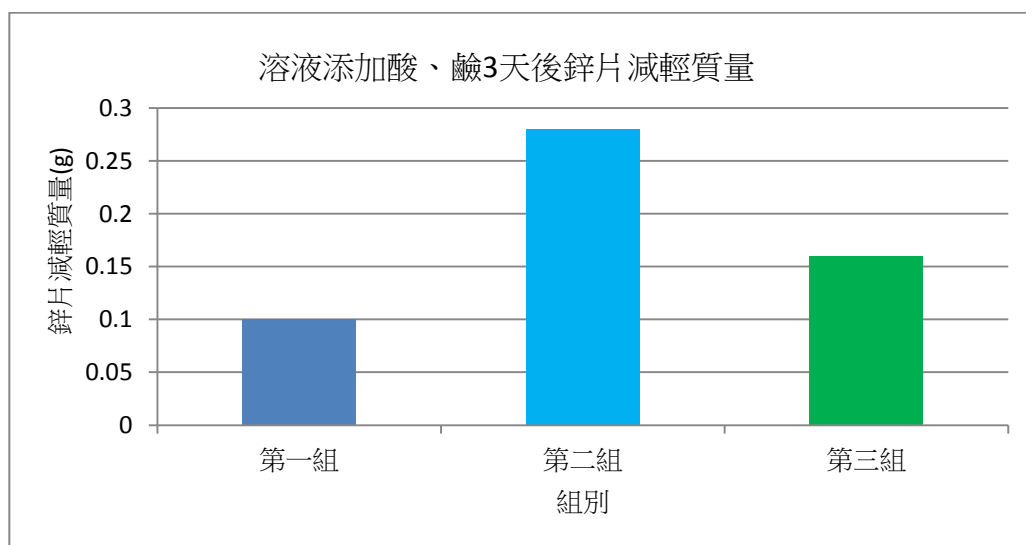


圖15 溶液添加酸、鹼3天後鋅片減輕質量

(三) 結果分析

三組皆有產生凝膠，但加氫氧化鈉能加速凝膠的生成。

實驗十、金屬片彎曲程度對氧化鋅凝膠生成之影響

(一) 實驗步驟

- 1.將磨光的鋅片(1cm×10cm)及表面氧化銅片(1cm×10cm)，彎曲成90度後置於盛有50mL1.0M氯化鈉的培養皿中，如圖16。
- 2.將磨光的鋅片(1cm×10cm)及表面氧化銅片(1cm×10cm)，依照培養皿壁的弧形彎曲後置於50mL1.0M氯化鈉的培養皿中，如圖17。
- 3.靜置並持續觀察1週、記錄其變化。

(二) 實驗結果

- 1.金屬片以90度彎曲，氧化鋅凝膠從兩金屬片的兩端交接處產生，且偏向鋅片，並匯集於鋅片及銅片之間，如圖18。
- 2.依照培養皿壁的弧形彎曲，整個培養皿都有氧化鋅凝膠生成，如圖19。

(三) 結果分析

90度彎曲的鋅片及表面氧化銅片所產生的氧化鋅凝膠會集中於兩個金屬片之間，且凝膠量明顯比弧形彎曲多。

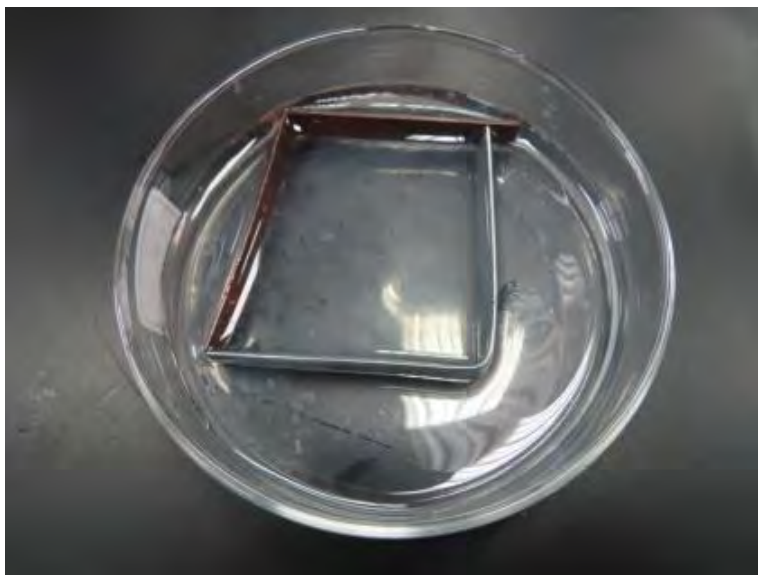


圖16 90度彎曲的鋅片及表面氧化銅片擺設情形

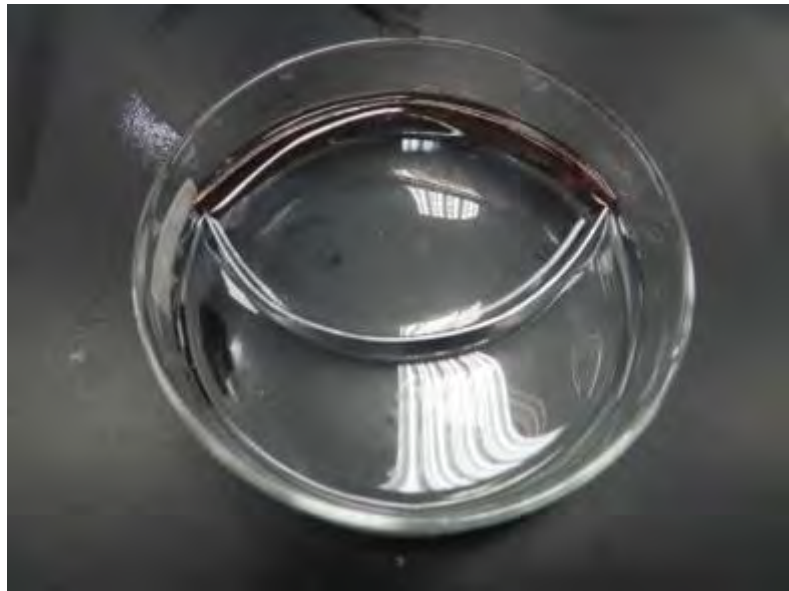


圖17 圓弧彎曲的鋅片及表面氧化銅片擺設情形

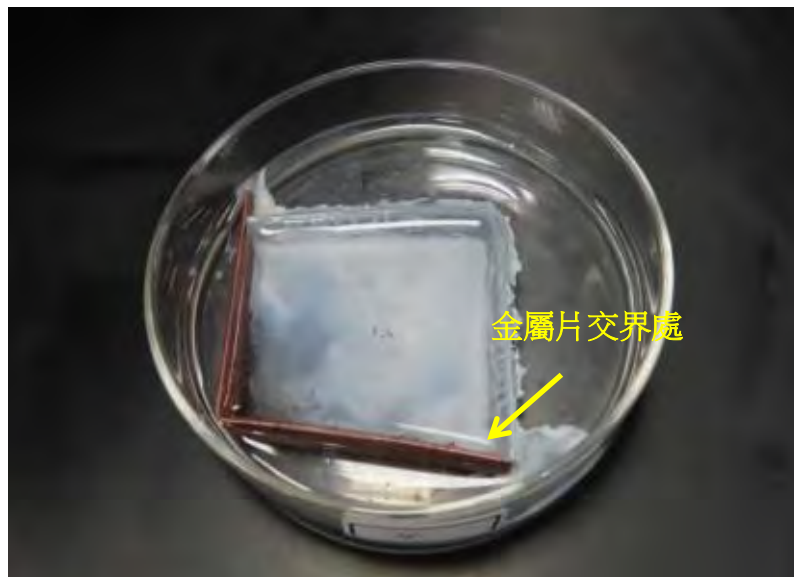


圖18 90度彎曲的鋅片及表面氧化銅片反應1週後之情形



圖19 彎曲的鋅片及表面氧化銅片反應1週後之情形

實驗十一、外加磁場對氧化鋅凝膠生成的影響

(一) 實驗步驟

- 1.取4個250mL的燒杯，分別盛1.0M的氯化鈉溶液200mL。
- 2.取4組鋅線圈分別秤重，再利用丁烷噴火槍將四組銅線圈表面燒黑，使其表面產生黑色氧化銅。
- 3.第一組將鋅線圈與表面為氧化銅的銅線圈置於燒杯中，且在燒杯外壁兩側分別黏上強力磁鐵並用導線連接兩線圈，磁鐵及線圈擺放方式如圖201。
- 4.第二組磁鐵及線圈擺放方式如圖202。
- 5.第三組磁鐵及線圈擺放方式如圖203。
- 6.第四組為對照組，燒杯不黏貼磁鐵。
- 7.靜置並持續觀察24小時、記錄其變化，72小時後再取出鋅線圈，洗清乾燥後秤重，並比較其結果。

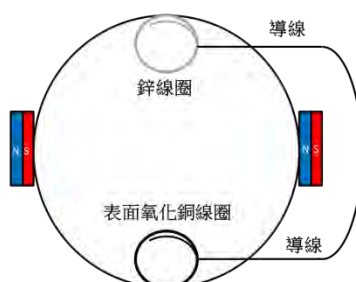


圖20-1 磁場方向與兩線圈連線垂直

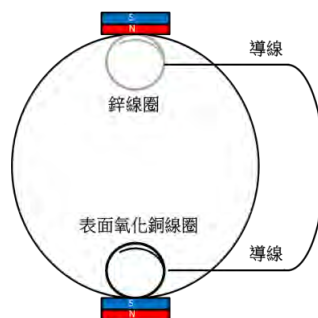


圖20-2 磁場方向與兩線圈連線平行

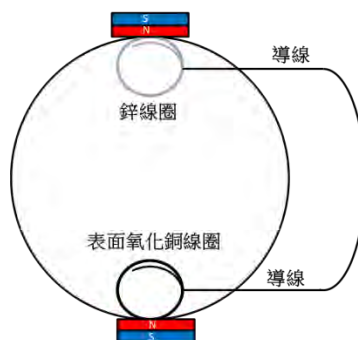


圖20-3 兩N極相對且與兩線圈連線平行

(二)實驗結果

結果如下表5、圖21

表5 外加磁場對鋅線圈質量變化的影響

組別	鋅線圈原質量(g)	鋅線圈反應後質量(g)	鋅線圈減輕質量(g)
第一組	11.60	11.56	0.04
第二組	11.57	11.34	0.23
第三組	11.59	11.58	0.01
對照組	11.58	11.30	0.28

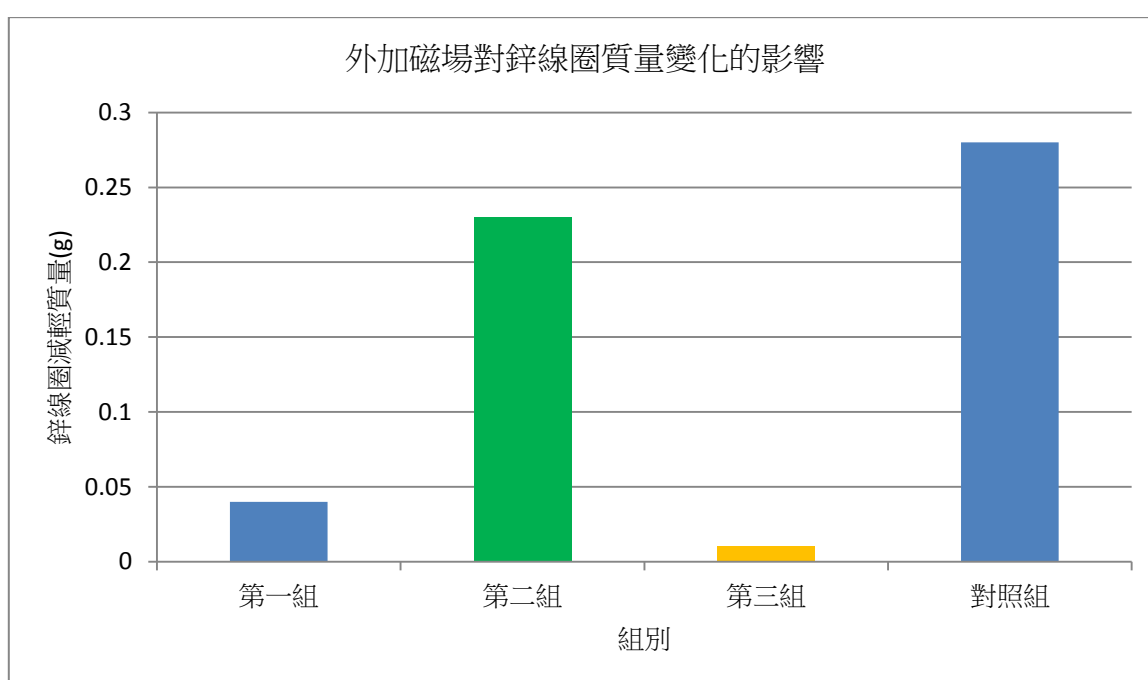


圖21 外加磁場對鋅線圈質量變化的影響

(三)結果分析

外加磁場會降低氧化鋅凝膠的生成速率，尤其以兩N極相對且與兩線圈連線平行的方式最為顯著。

第三部分：分析氧化鋅凝膠特性及其應用

實驗十二、氧化鋅凝膠吸水率測量

(一) 實驗步驟

- 1.測量培養皿質量。
- 2.利用滴管將實驗製備的氧化鋅凝膠注入三個培養皿中，形成一層薄膜。
- 3.測量凝膠與培養皿的總質量，計算凝膠質量。

- 4.將凝膠靜置於濕度80%以上的環境中，每隔一段時間測量其總質量，取7天中總質量最大的數值，計算凝膠最大吸水量。
- 5.將上述樣本置於乾燥箱中，使凝膠析出白色氧化鋅結晶，如圖22，測量結晶質量，並計算凝膠中氧化鋅的含量。
- 6.吸水量除以凝膠質量，計算出凝膠吸水率。



圖22 於培養皿中乾燥的氧化鋅凝膠

(二)實驗結果

- 1.氧化鋅凝膠在潮濕環境中會吸收大量的水，如圖23。
- 2.三組凝膠樣本之吸水率如表6。



圖23 氧化鋅凝膠的吸水情形

表6 各組氧化鋅凝膠吸水量及吸水率

	凝膠質量(g)	凝膠最大吸水量(g)	凝膠吸水率
樣本 1	0.26	0.27	103.85%
樣本 2	0.97	1.12	115.46%
樣本 3	0.97	1.58	162.89%

(三)結果分析

凝膠吸水量與凝膠質量無顯著關係，三個樣本吸水率皆超過100%，都可以吸收自身質量一倍以上的水。

實驗十三、利用氧化鋅凝膠與水彩調色盤製作發電裝置

(一)實驗步驟

- 1.製備氧化鋅凝膠，以滴管吸取凝膠滴入水彩盤的格子中，靜置使其表面凝固。
- 2.將兩片銅片連接三用電錶，並將銅片放入水彩盤格子中的兩端，測量其電壓，並錄影記錄。
- 3.以對折彎曲的銅片（1cm×10cm）連接水彩盤的兩格，測量兩端電壓，並錄影記錄。
- 4.增加放置銅片的數量及格子數，重複步驟3，如圖24，一格為一組，兩格為兩組，以此類推，總共做到4組。

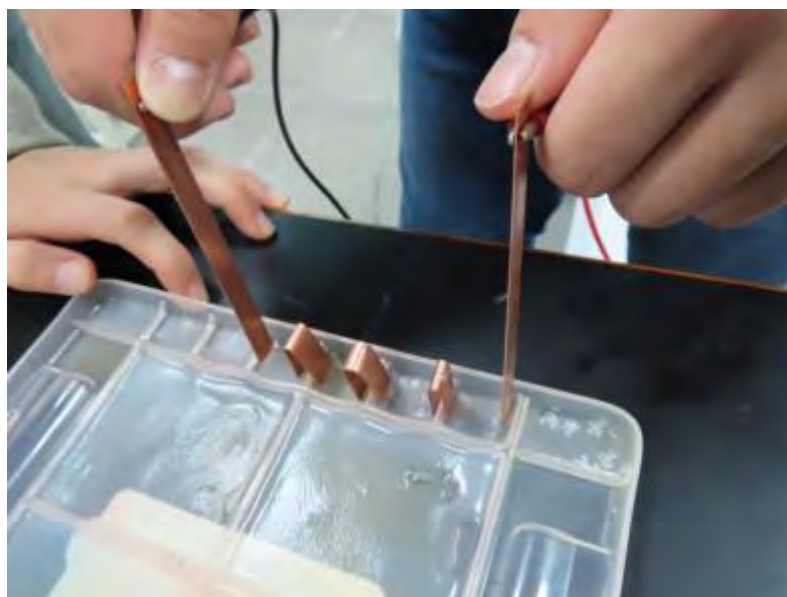


圖24 測量四組氧化鋅凝膠之發電電壓

(二)實驗結果

連接不同組數之氧化鋅凝膠發電電壓，結果如表7及圖25。

表7 水彩調色盤中多組氧化鋅凝膠發電之電壓

連接組數	1	2	3	4
電壓 (毫伏特)	21.1	25.9	27.8	32.4

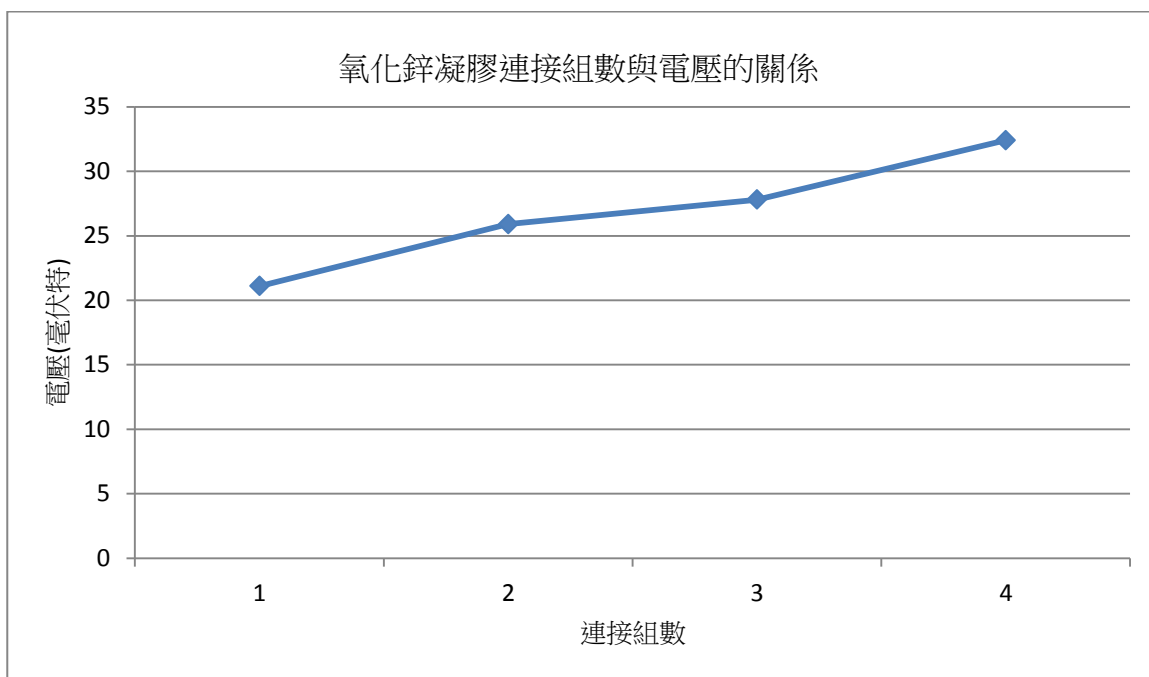


圖25 氧化鋅凝膠連接組數與電壓的關係

(三)結果分析

連接組數越多電壓越大。

實驗十四、氧化鋅凝膠層數不同時的發電電壓

(一)實驗步驟

- 1.製備氧化鋅凝膠，並將0.25g凝膠塗佈在兩片3cm×5cm的銅片之間。
- 2.測量其電壓及電流，實驗重複三次，並記錄最大電壓以及電流，如圖26。
- 3.再加入0.25g氧化鋅凝膠於上層的銅片上，並疊上另一片銅片，如圖27。
- 4.測量雙層的電壓及電流，實驗重複三次，並記錄最大電壓以及電流。

(二)實驗結果

1. 單層測得之最大電壓為26毫伏特，最大電流為70微安培。
2. 雙層凝膠電壓高於單層，最大電壓為140毫伏特，最大電流為60微安培。

(三)結果分析

比較單層與雙層凝膠，雙層凝膠電壓較大，但電流比單層小。

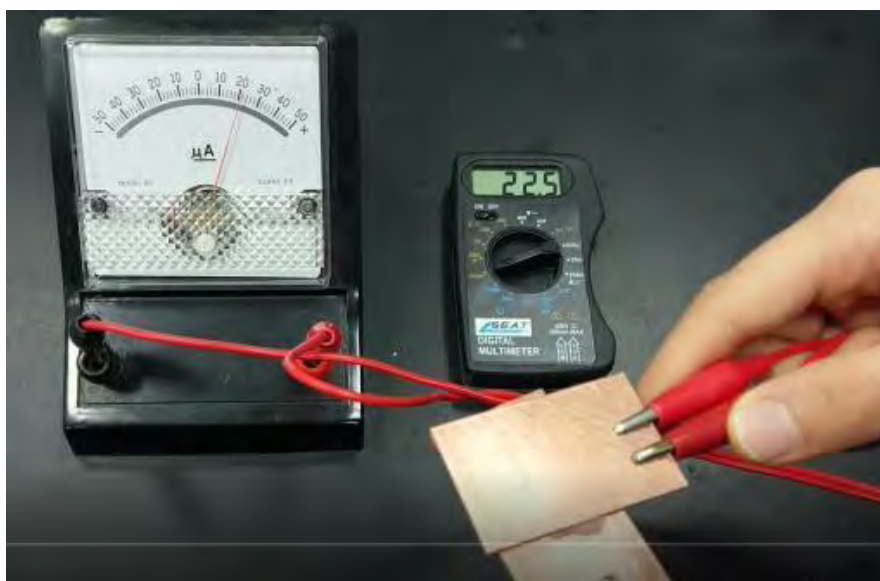


圖26 單層氧化鋅凝膠之電壓及電流

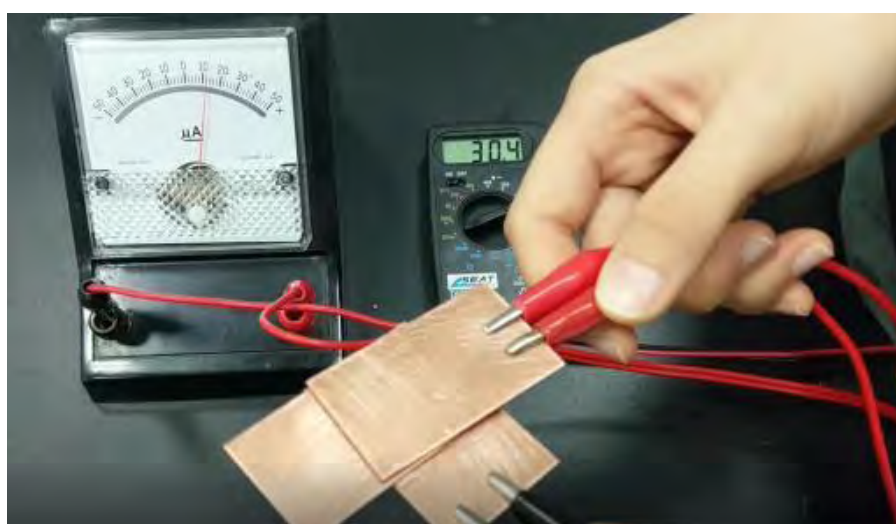


圖27 雙層氧化鋅凝膠之電壓及電流

實驗十五、測試氧化鋅凝膠阻擋遮蔽紫外線的效果

(一)實驗步驟

1. 利用紫外線強度計測量陽光下紫外線數值，如圖28。
2. 將培養皿放於紫外線感應器上，測量紫外線數值，如圖29。
3. 將10mL氧化鋅凝膠注入培養皿中，測量紫外線數值，如圖30。
4. 將步驟2的數值減去步驟3的數值再除以步驟1的數值，計算紫外線遮蔽率。
5. 氧化鋅凝膠增加為30mL，重複上述操作。

(二)實驗結果

根據紫外線強度計測得之數值，以及計算之紫外線遮蔽率，如下表8。

表8 測量之紫外線數值及紫外線遮蔽率

凝膠體積	無遮蔽之紫外線數值($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)	培養皿遮蔽之紫外線數值($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)	凝膠含培養皿之數值($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)	紫外線遮蔽率
10mL	2750	2490	1520	35.27%
30mL	2420	2170	340	75.62%



圖 28 無遮蔽時紫外線強度:2750 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$



圖 29 培養皿遮蔽時紫外線強度:2490 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$



圖30 凝膠含培養皿遮蔽時紫外線強度:1520 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$

(三)結果分析

30mL凝膠遮蔽紫外線的效果較10mL佳，其紫外線的遮蔽率約為10mL的兩倍。

第四部分：利用置換反應製作各種金屬鹽凝膠

實驗十六、利用鋁片、鐵片、鎳片與表面氧化銅片在食鹽水中反應製作凝膠

(一) 實驗步驟

- 1.取三個培養皿，各倒入濃度1.0M的氯化鈉水溶液60mL，另取鋁片、鐵片、鎳片(3cm×5cm)各一，表面磨光後分別稱重。
- 2.三個培養皿內分別置入鋁片、鐵片、鎳片，再放入燒製後的表面氧化銅片(3cm×5cm)，使兩金屬片互相接觸。
- 3.靜置並持續觀察，記錄其變化。72小時後取出鋁片、鐵片、鎳片，清洗乾燥後稱重，比較其結果。

(二) 實驗結果

24小時後，三組皆有凝膠生成，如圖31、圖32及圖33，72小時後，三組質量變化如下表9及圖34。

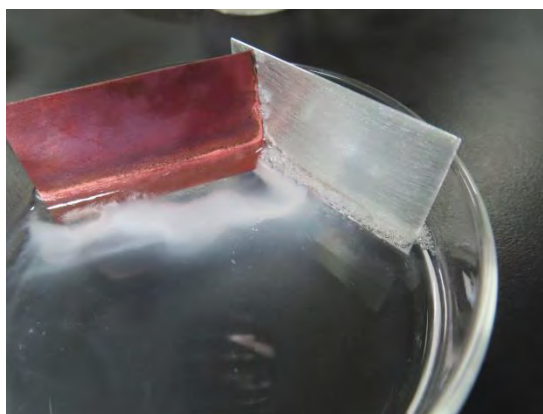


圖31 鋁與表面氧化銅片生成凝膠之情形

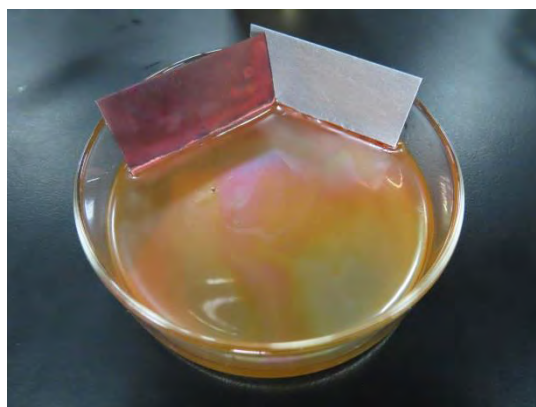


圖32 鐵與表面氧化銅片生成凝膠之情形

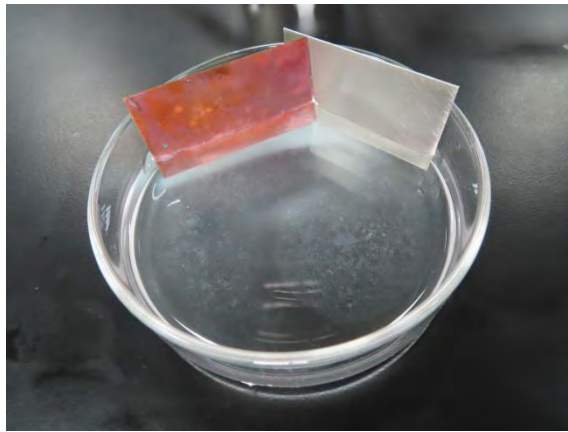


圖33 鎳與表面氧化銅片生成凝膠之情形

表9 反應72小時後鋁片、鐵片、鎳片質量變化

組別	金屬片原質量(g)	金屬片反應後之質量(g)	金屬片減輕質量(g)
第一組(Al)	2.13	1.95	0.18
第二組(Fe)	6.24	6.12	0.12
第三組(Ni)	7.03	6.98	0.05

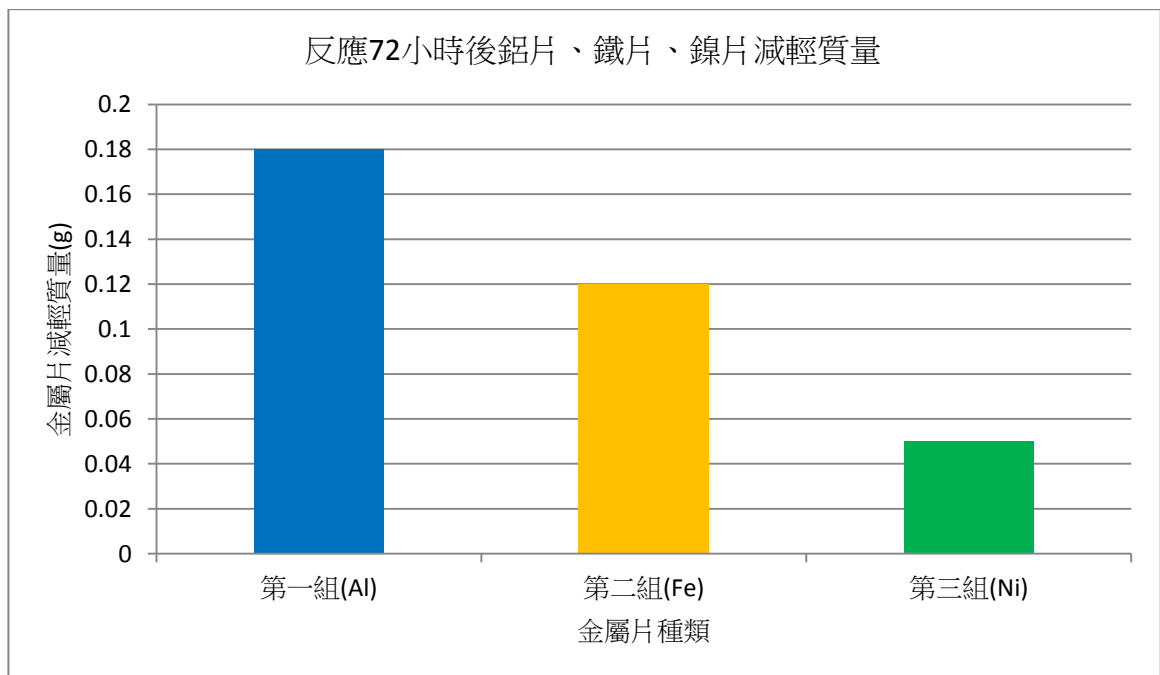


圖34 反應72小時後鋁片、鐵片、鎳片減輕質量

(三) 結果分析

鋁、鐵、鎳三種金屬與表面氧化銅片在食鹽水中反應皆可產生凝膠，其中以鋁片減少的質量最大，反應產生最多的凝膠。

伍、討論

- 一、本實驗製備氧化鋅的主要反應式為： $\text{Zn} + \text{CuO} \rightarrow \text{ZnO} + \text{Cu}$ ，水凝膠的主要成分為氧化鋅及食鹽的含水混合物。反應生成的氧化鋅凝膠會沉降在容器底部，製備時需先將溶液上層澄清液取出，靜置待表面凝固，如圖35，再以保鮮膜覆蓋以防止凝膠再吸水。

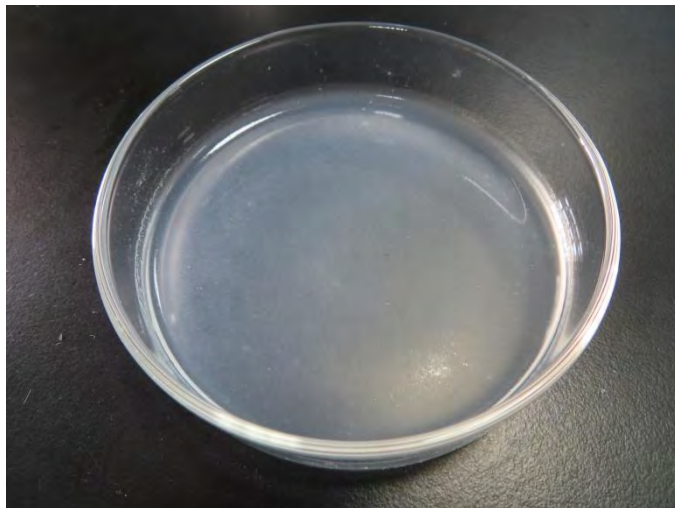


圖35 實驗製備完成之凝膠

- 二、使用瓦斯爐、烤箱或噴火槍加熱銅片可將表面製成氧化銅，但以瓦斯爐火燒製會造成銅片受熱不均勻，導致氧化層脫落。因此使用烤箱或噴火槍進行實驗較適宜。
- 三、實驗反應後銅片或銅線圈放置數天後，表面會變得粗糙並產生藍綠色 $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ ，可用稀鹽酸清洗去除。
- 四、以表面為氧化銅之銅片以及鋅片製作之氧化鋅凝膠，導電以及發電效果較以其他方式製作之氧化鋅凝膠為佳。此外，雙層凝膠的發電電壓較大，但電流比單層小，其原因有待後續研究。
- 五、本實驗在利用鋅片與氧化銅粉反應製備氧化鋅凝膠的過程中，發現凝膠與空氣接觸面有一層薄膜，如圖36。根據參考資料四，氧化鋅薄膜主要的製備方法有溶膠凝膠法、化學水浴沉積法、電化學沉積法等，與本實驗的製備方法不同。

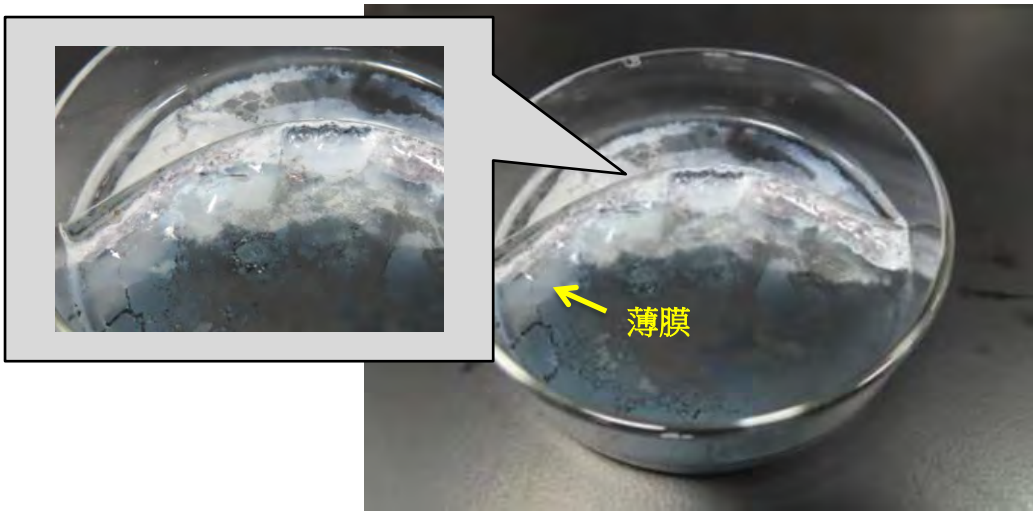


圖36 鋅與氧化銅粉反應液面形成薄膜

六、鋅片與表面氧化的銅片在食鹽水中反應，當鋅與銅片表面的氧化銅反應後，鋅片與空氣接觸而繼續氧化，會緩慢生成氧化鋅凝膠。經過一段時間，溶液水分蒸發後會有氧化鋅於鋅片表面結晶析出，如圖37。

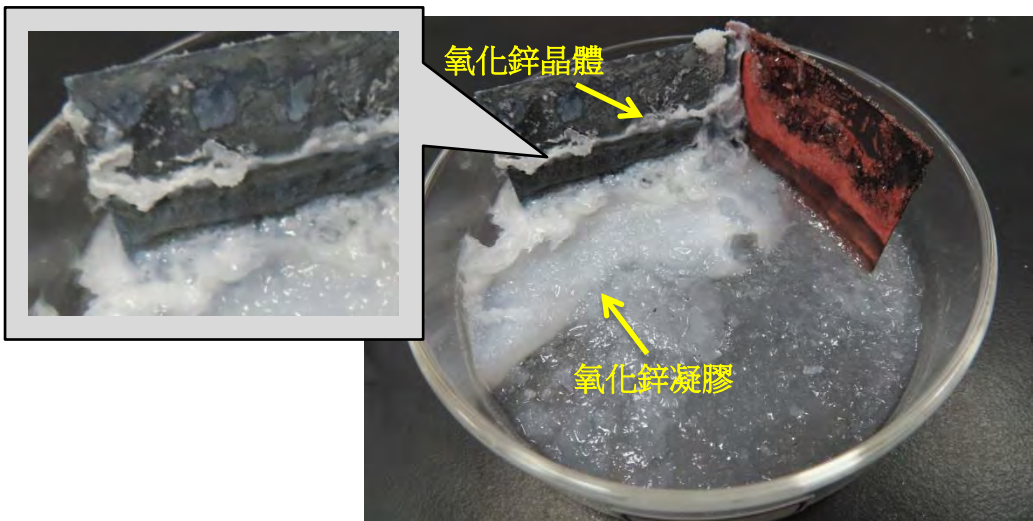


圖 37 氧化鋅凝膠與氧化鋅晶體

七、實驗四中，鋅片插入含有氧化銅粉末的食鹽水中，由於鋅片與氧化銅實際接觸的表面積小，因此生成凝膠的速率緩慢，持續進行1個月後，氧化銅無殘留且生成白色氧化鋅及半透明的氧化鋅凝膠，燒杯底部有紅色的銅粉，如圖38。

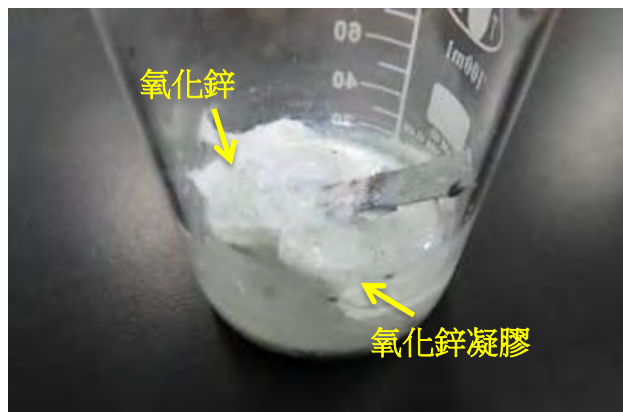


圖 38 白色氧化鋅及部分半透明的氧化鋅凝膠

- 八、實驗五的三組反應，鋅片與表面氧化銅片反應的那一組鋅片質量減少最多，表示生成凝膠的速率最大，其原因可能為反應開始時鋅與氧化銅進行取代反應，有利於後續鋅的氧化。
- 九、鋅片與表面氧化銅片或鋅線圈與表面氧化銅線圈反應皆可產生凝膠，但以線圈的反應速率較大，其原因為線圈反應時其反應之總表面積較大，且彎曲的線圈形變較大有利於鋅的氧化。
- 十、實驗七中，以不同濃度之氯化鈉水溶液來製備氧化鋅凝膠，其產量並無顯著差別，但氯化鈉含量較高之凝膠脫水時會產生氯化鈉結晶，因此後續的研究皆以 1M 的食鹽水進行實驗。
- 十一、根據實驗八之結果，鋅與表面為氧化銅之銅片在氯化鈉或氯化鉀溶液中的反應速率，比在硝酸鉀或硝酸鈉溶液中大，顯示含有氯離子的溶液中，氧化鋅凝膠生成較快，其原因可能為氯離子能加速鋅的氧化。
- 十二、實驗九中，添加氫氧化鈉於食鹽水中可提高凝膠的生成速率，而氫氧化鈉與鋅會有下列的反應： $Zn + 2NaOH + 2H_2O \rightarrow Na_2[Zn(OH)_4] + H_2$ ，這可能有利於鋅的氧化因而加速凝膠生成，但加入氫氧化鈉並無法提高所製備凝膠的發電電壓以及電流。
- 十三、實驗十中，90度彎曲的金屬片氧化鋅凝膠生成量較多，顯示彎曲的鋅片表面較容易釋放出電子，鋅的氧化速率較大。
- 十四、實驗十一中，外加磁場會降低氧化鋅凝膠的生成速率。在磁場中，帶正電的鋅離子於溶液中移動時會受力作用，當鋅離子運動方向與磁場方向平行時作用力最小，因此磁場方向與兩線圈連線方向平行時影響較小，而當兩N極相對且與兩線圈連線方向平行時影響最大。
- 十五、實驗十二結果顯示，凝膠吸水量與凝膠質量無顯著關係，由於三個樣本與空氣接

觸的表面積十分接近，可推論凝膠吸水率和其與空氣接觸的面積大小有關。

- 十六、實驗十四中，我們曾利用氯化鈉水溶液取代凝膠做相同的實驗測試，但無發電的效果，可說明氯化鈉無法提高氧化鋅凝膠的發電效果。此外，如何讓氧化鋅凝膠發電電壓較為穩定是我們未來的研究方向。
- 十七、實驗十五的結果顯示，30mL凝膠其紫外線的遮蔽率約為10mL的兩倍，原因為凝膠體積愈大則其厚度愈大，能遮蔽愈多的紫外線。
- 十八、將鋁片、鐵片、鎳片與表面氧化銅片置於氯化鈉水溶液中，反應24小時後皆有凝膠產生，且鋁片凝膠生成量最多。由於鋁、鐵、鎳三種金屬對氧的活性以鋁最大，鋁較易放出電子，因此生成凝膠的速率也較大。
- 十九、若將鋅片與表面氧化銅片長時間浸泡於蒸餾水中，可產生絲狀的白色氧化鋅，但由於缺少電解質，因此無法形成凝膠。

陸、結論

- 一、鋅與氧化銅置於食鹽水中反應可產生氧化鋅凝膠，但使用鋅線圈與表面為氧化銅之銅線圈於食鹽水中反應時生成速率較快。
- 二、影響氧化鋅凝膠生成的因素包括：電解質種類、電解液酸鹼值、鋅的形變程度、鋅片與空氣接觸面積的大小及外加磁場等。含有氯離子或添加鹼性物質的電解液，凝膠生成的速率較大，彎曲的鋅片或鋅片露出液面也有利於凝膠的生成，而外加磁場則會抑制凝膠的產生。
- 三、氧化鋅凝膠具高吸水性，可吸收自身質量一倍以上的水，且有遮蔽紫外線的作用，能遮蔽75%以上的紫外線。此外，氧化鋅凝膠富有導電性及發電功能，發電電壓可達140毫伏特，電流達70微安培，可進一步發展製作氧化鋅凝膠電池。
- 四、利用鋁片、鐵片或鎳片與表面氧化銅片在食鹽水中反應，可製備不同金屬鹽的凝膠。
- 五、本研究利用方便取得的材料，以簡易方法製備氧化鋅凝膠，研發出新穎且對環境無害的凝膠製作方法，具有推廣及創新應用的價值。
- 六、本研究所設計的實驗富有趣味性，可於中學自然科「氧化與還原」單元中進行探究與實作。

柒、參考資料及其他

- 一、史家瑩(2019)。國民中學自然與生活科技。翰林書局，2下，2-2 氧化與還原，42-45。
- 二、水溶液法成長氧化鋅薄膜及其薄膜晶體管制作。2019年3月7日取自 <https://ir.nctu.edu.tw/bitstream/11536/40012/1/552501.pdf>。

- 三、何紹鴻(2016)。以化學水浴沉積法製備之氧化鋅特性研究。花蓮：國立東華大學電機工程學系。
- 四、徐上焱(2018)。以溶膠凝膠法製作 ZnO:Cu 透明薄膜特性之研究。台中：國立中興大學電機工程學系。
- 五、紀乃瑋(2002)。奈米氧化鋅之製備、微結構與發光特性之研究。新竹：國立交通大學應用化學系。
- 六、蔡百傑(2006)。探討以溶膠凝膠法製備氧化鋅透明導電薄膜。台南：南台科技大學機械工程系。

【評語】 030203

作者研發製作氧化鋅溶膠的方法並提供實際運用在吸溼、遮蔽紫外線與電池的環保導電電解液的案例。因為此方法的製備方式相當的簡單，相信能夠有效的拓展到其他國高中的化學實驗上，並透過不同的其他金屬的配置，相信會讓國高中的同學們更加了解氧化還原實驗的原理。然而凝膠成份尚不清楚，如能說明食鹽水與凝膠之關係，闡明除了氧化鋅粉末外之成份，當更有可信度。若能定量氧化鋅凝膠之產率，便可知最佳合成氧化鋅凝膠之方法了。以下幾點建議提供參考：

1. 應儘可能明述氧化鋅凝膠的成份(或結構)與產率。
2. 所測量的數據應該要做統計並列出誤差值，譬如表一 (圖 12 可略)。
3. 確認為何氧化鋅凝膠遮蔽紫外線，以及是否遮蔽可見光之性質。

摘要

本研究以方便取得的材料及簡易的操作程序，發展新穎且對環境無害的氧化鋅凝膠製備法。實驗首先尋找製備氧化鋅凝膠的方法，接著探討影響凝膠形成的因素，包括電解質種類、電解液濃度、電解液添加酸或鹼、外加磁場以及反應金屬的形狀等。最後針對製備的氧化鋅凝膠進行吸水性、紫外線遮蔽程度、導電性及發電效果等測試。研究結果顯示，鋅線圈與表面為氧化銅之銅線圈於食鹽水中反應速率較快，是製備氧化鋅凝膠的較佳方式。氧化鋅凝膠可吸收自身質量一倍以上的水，能遮蔽75%以上的紫外線。另外，氧化鋅凝膠發電最高電壓可達140毫伏特，最大電流可達70微安培。本研究能以簡易方式製備氧化鋅凝膠，具有推廣及應用的價值。

壹、研究動機

去年暑期科學營進行伏打電池實驗後，實驗的鋅片留在食鹽水中忘記清洗，隔天發現鋅片附近出現白色的絲狀物質。這些絲狀物質是什麼？為什麼會出現？什麼因素可能影響它的出現？我們對這些不明絲狀物質充滿好奇。於是利用課後時間查閱資料，發現它可能是氧化鋅，接著利用八下自然課所學到的氧化與還原的原理來做進一步實驗，嘗試解答以上的種種疑問。

貳、研究目的

- 一、尋找製備氧化鋅凝膠的適當方法
- 二、探討影響氧化鋅凝膠生成的因素
- 三、分析氧化鋅凝膠的特性及其應用
- 四、以置換反應製作各種金屬鹽凝膠

參、研究過程與結果

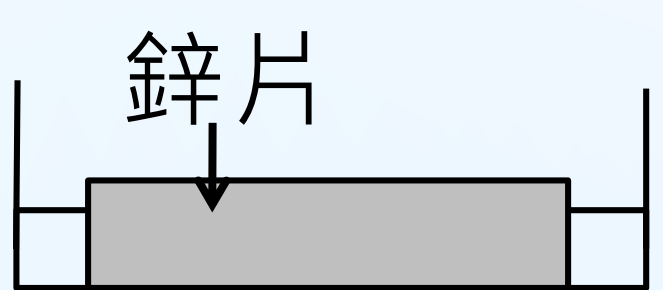
實驗一：鋅片、鋅粒與氯化鈉水溶液反應

1.0 M 70 mL NaCl(aq) ←  6 hr → 皆有白色物質生成



圖1 鋅片在氯化鈉溶液中反應24小時後情形

實驗二：鋅片露出液面與氯化鈉水溶液反應

1.0 M 50 mL NaCl(aq) ←  6 hr → 鋅片周圍有白色物質產生 → 24 hr → 彎曲處有絲狀氧化鋅(圖1)

實驗三：鋅粉與氧化銅粉於氯化鈉水溶液中反應

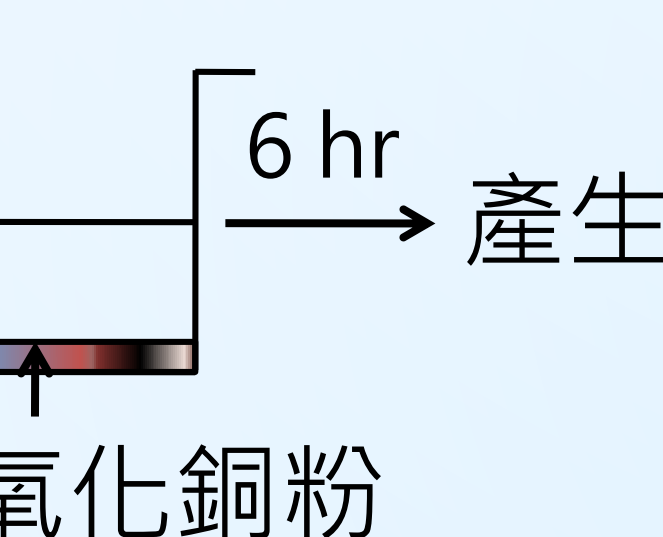
1.0 M 50 mL NaCl(aq) ←  6 hr → 產生白色物質(圖2) → 24 hr → 燒杯底部紅色銅沉澱



圖2 鋅粉與氧化銅粉反應6小時後情形

實驗四：鋅片與氧化銅粉於氯化鈉水溶液中反應

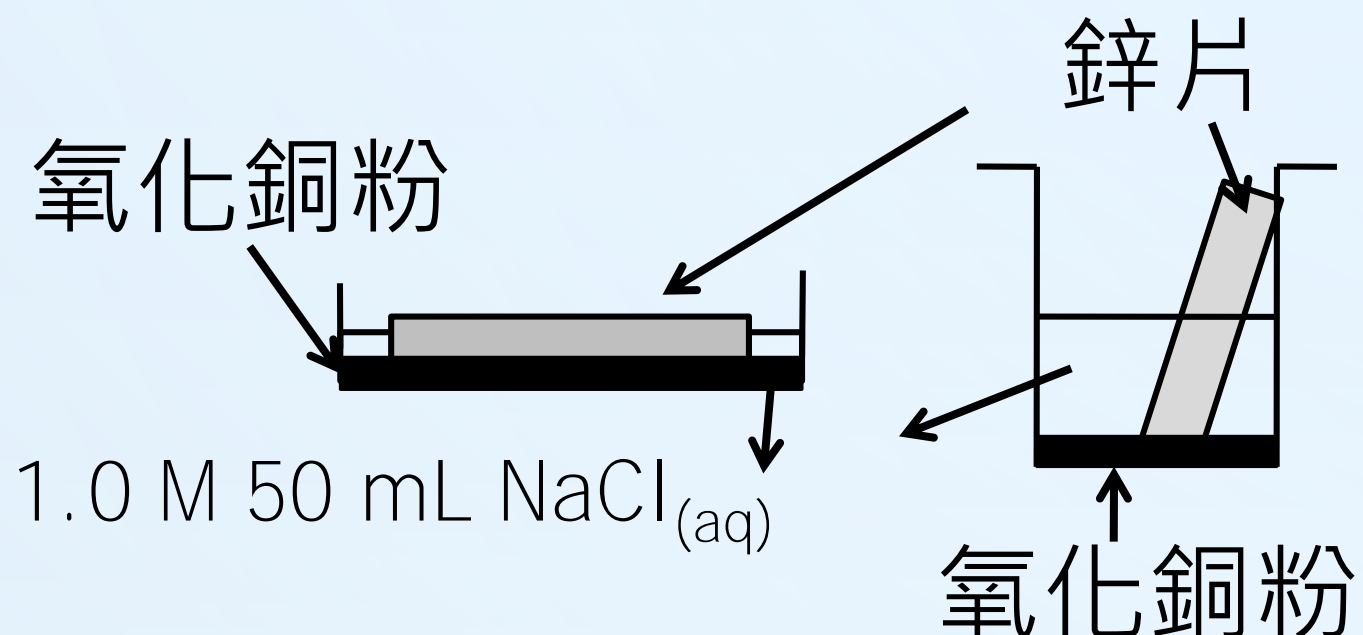
 1.0 M 50 mL NaCl(aq) → 6 hr → 白色絲狀物質產生 → 24 hr → 液面有膠狀物質生成(圖3、4)
1 week → 1. 膠狀物向四周擴散延伸
2. 鋅片厚度減少

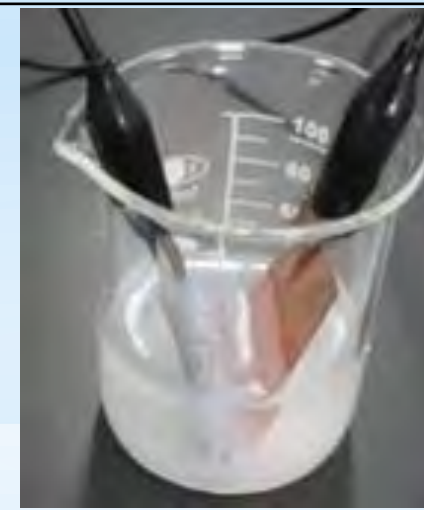
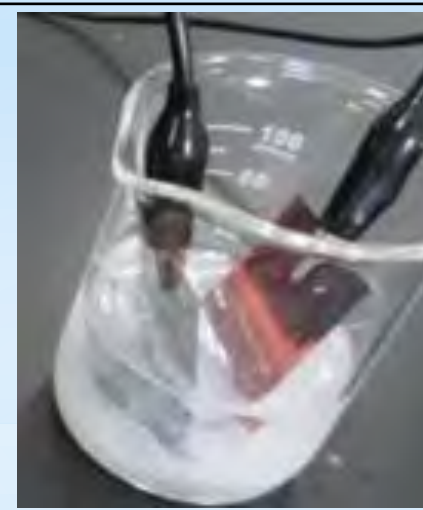


圖3 彎曲鋅片與氧化銅粉反應情形

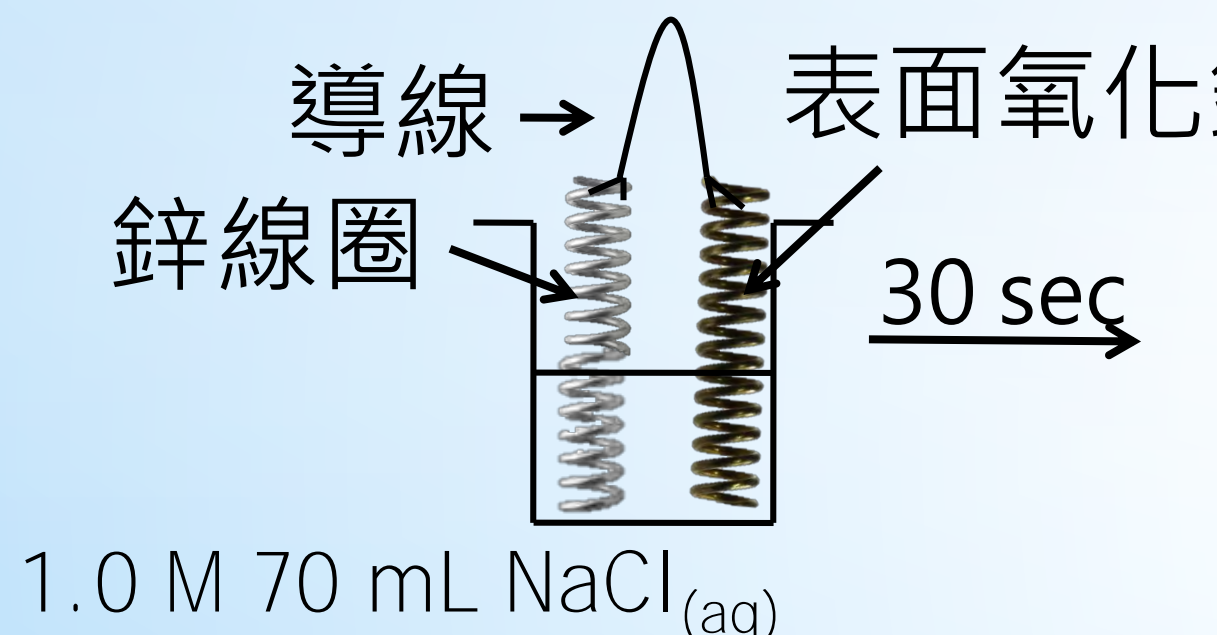


圖4 鋅片與氧化銅粉反應情形

實驗五：鋅片與銅片、表面氧化銅片於氯化鈉水溶液中反應

反應金屬	鋅片	鋅片與銅片	鋅片與氧化銅片
是否產生凝膠	√	√	√
反應72小時後的情形	 圖5 鋅	 圖6 鋅與銅	 圖7 鋅與表面氧化銅
72 小時鋅片平均質量變化(g)	-0.01	-0.15	-0.23
鋅片減輕質量比較	鋅片與氧化銅片 > 鋅片與銅片 > 鋅片		

實驗六：鋅線圈與表面氧化銅線圈於氯化鈉水溶液中反應

 1.0 M 70 mL NaCl(aq) → 30 sec → 鋅線圈周圍生成氧化鋅凝膠 → 2 min → 凝膠逐漸擴散至銅線圈周圍 → 15 min → 凝膠沉降至容器底部(圖8)

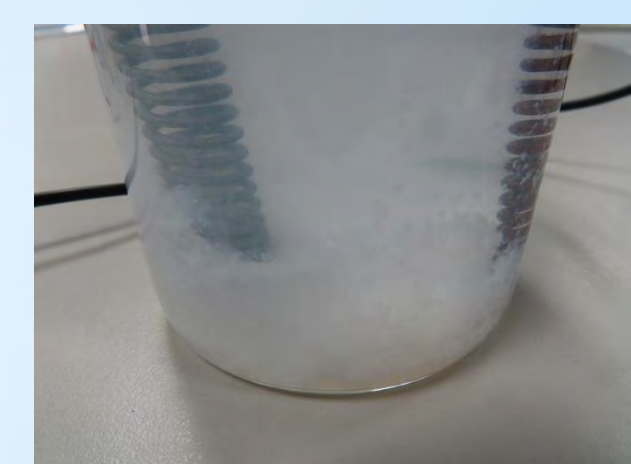
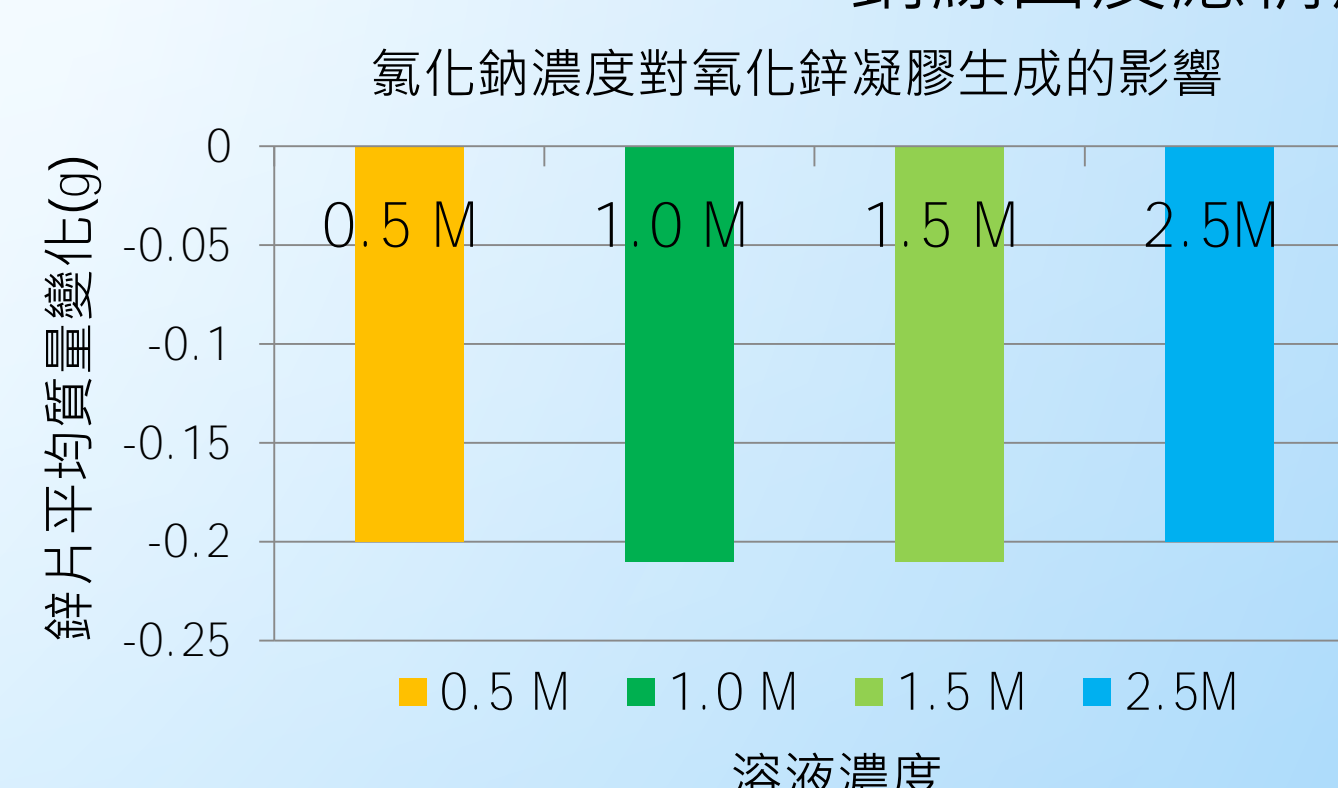


圖8 鋅線圈及表面氧化銅線圈反應情形

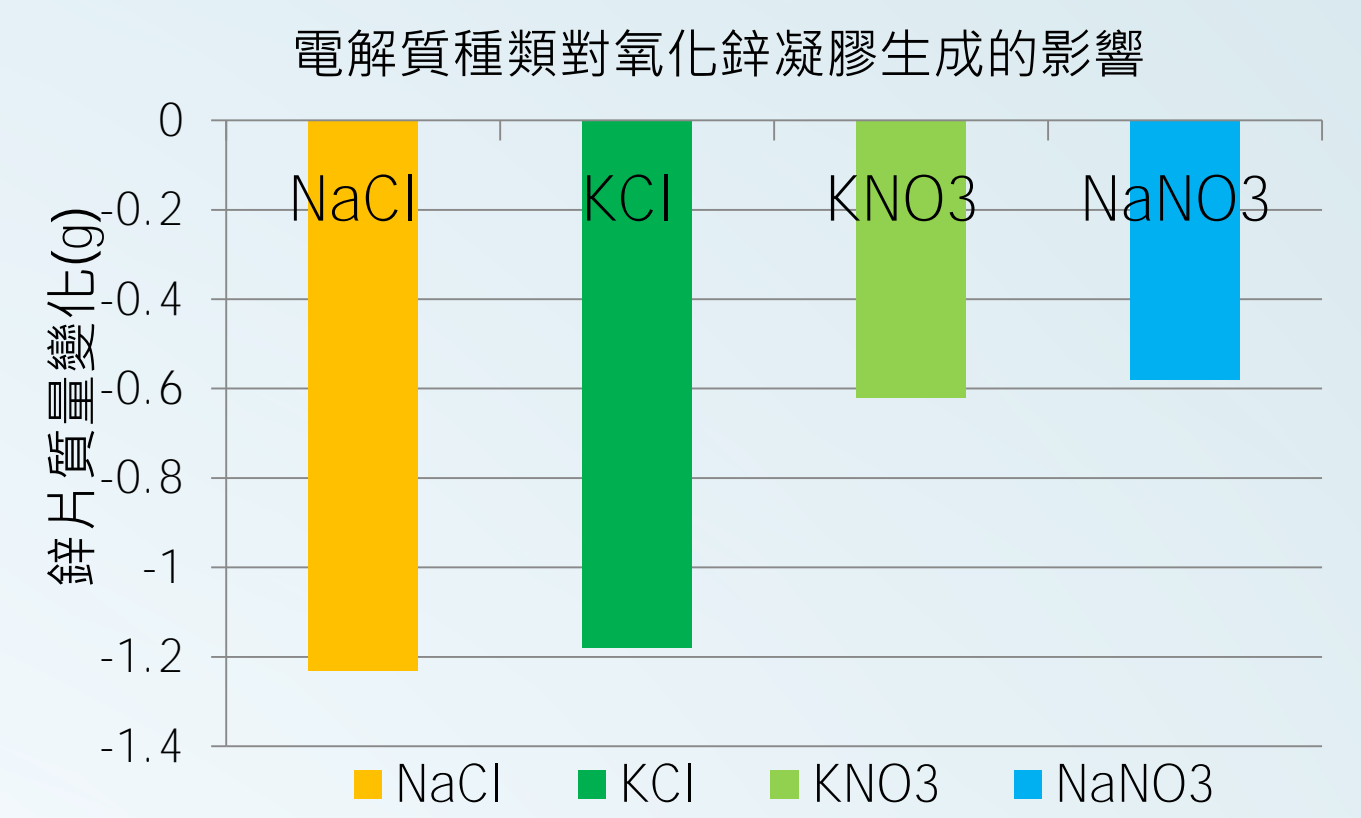
實驗七：氯化鈉濃度對氧化鋅凝膠生成的影響

氯化鈉溶液濃度	0.5 M	1.0 M	1.5 M	2.5M
是否產生凝膠	√	√	√	√
72 小時鋅片平均質量變化(g)	-0.20	-0.21	-0.21	-0.20
結果分析	濃度對凝膠生成的影響不顯著			



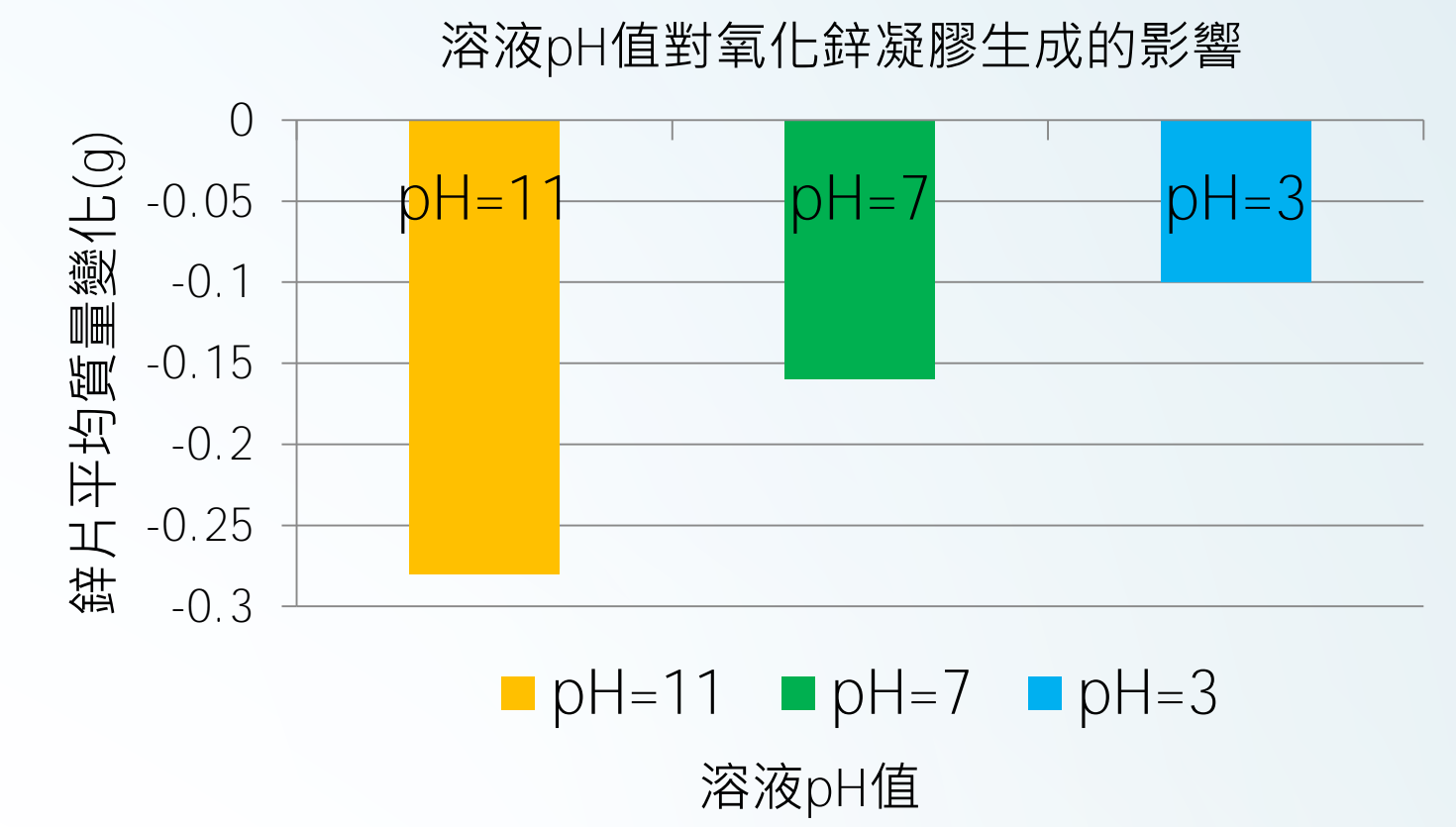
實驗八：電解質種類對氧化鋅凝膠生成的影響

電解質	NaCl	KCl	KNO ₃	NaNO ₃
是否產生凝膠	√	√	√	√
72小時鋅片質量變化(g)	-1.23	-1.18	-0.62	-0.58
鋅片減輕質量比較(圖9)	NaCl ~ KCl >> KNO ₃ ~ NaNO ₃			



實驗九：溶液pH值對氧化鋅凝膠生成的影響

溶液pH值	pH=11	pH=7	pH=3
72小時鋅片平均質量變化(g)	-0.28	-0.16	-0.10
鋅片減輕質量比較(圖10)	pH=11 > pH=7 > pH=3		



實驗十：金屬片彎曲程度對氧化鋅凝膠生成之影響

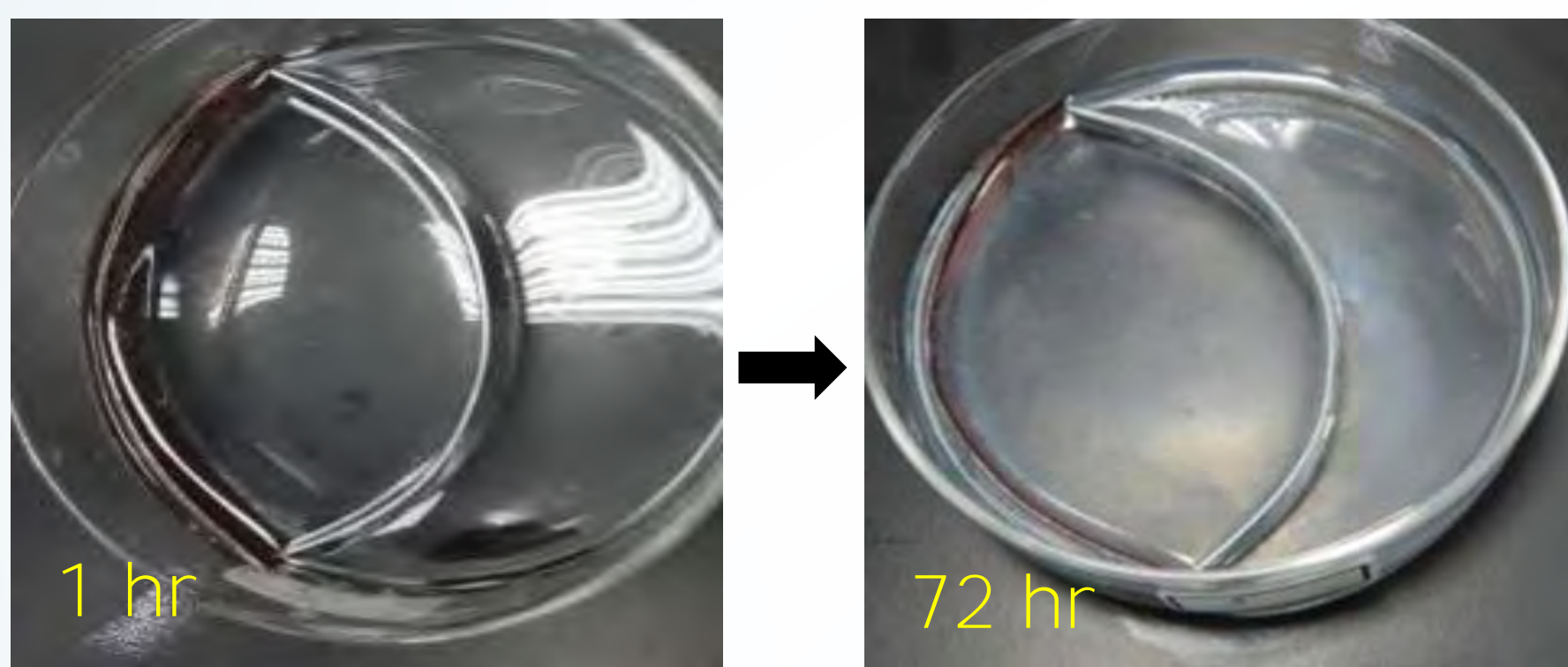


圖11 金屬片圓弧彎曲

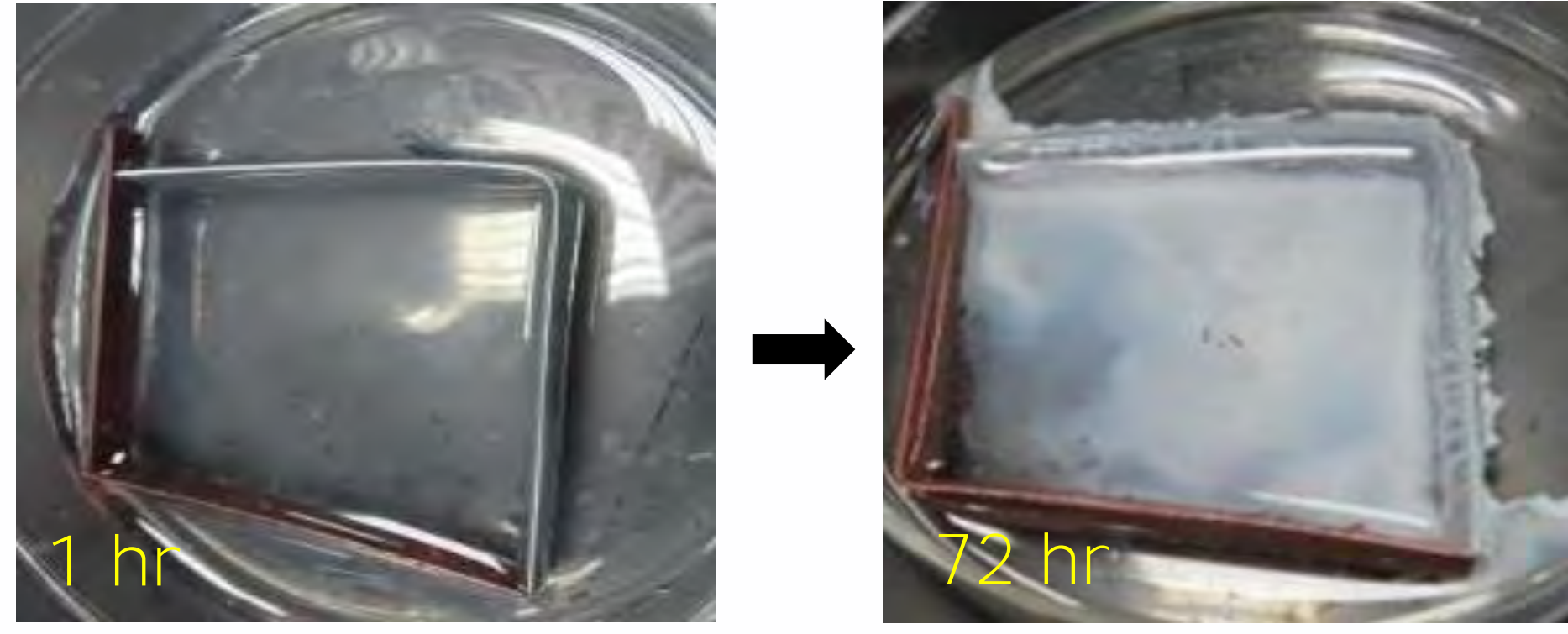


圖12 金屬片90度彎曲

圖10 鋅片與不同pH值溶液反應後質量變化

實驗十一：外加磁場對氧化鋅凝膠生成的影響

磁鐵、線圈放置方式及磁場方向	磁場方向與兩線圈連線方向垂直	磁場方向與兩線圈連線方向平行	兩N極相對且與兩線圈連線方向平行	無外加磁場 (對照組)
實驗裝置俯視圖				
72小時鋅線圈平均質量變化(g)	-0.04	-0.23	-0.01	-0.28

實驗十二：氧化鋅凝膠吸水率測量

- 凝膠靜置於濕度80%以上環境中(圖17)
- 每隔一段時間測量質量
- 取7天中最大數值計算最大吸水量、吸水率(表1)



圖17 氧化鋅凝膠吸水情形

表1 氧化鋅凝膠吸水量及吸水率

	凝膠質量	凝膠最大吸水量	凝膠吸水率
樣本1	0.26 g	0.27 g	103.85%
樣本2	0.97 g	1.12 g	115.46%
樣本3	1.03 g	1.58 g	153.40%

實驗十三：氧化鋅凝膠與水彩調色盤製作發電裝置

- 將氧化鋅凝膠注入水彩盤
- 以彎曲銅片連接水彩盤兩格並測量電壓
- 增加連接的組數後再測量其電壓(圖18、19)



圖18 測量四組氧化鋅凝膠發電電壓

氧化鋅凝膠連接組數與電壓的關係

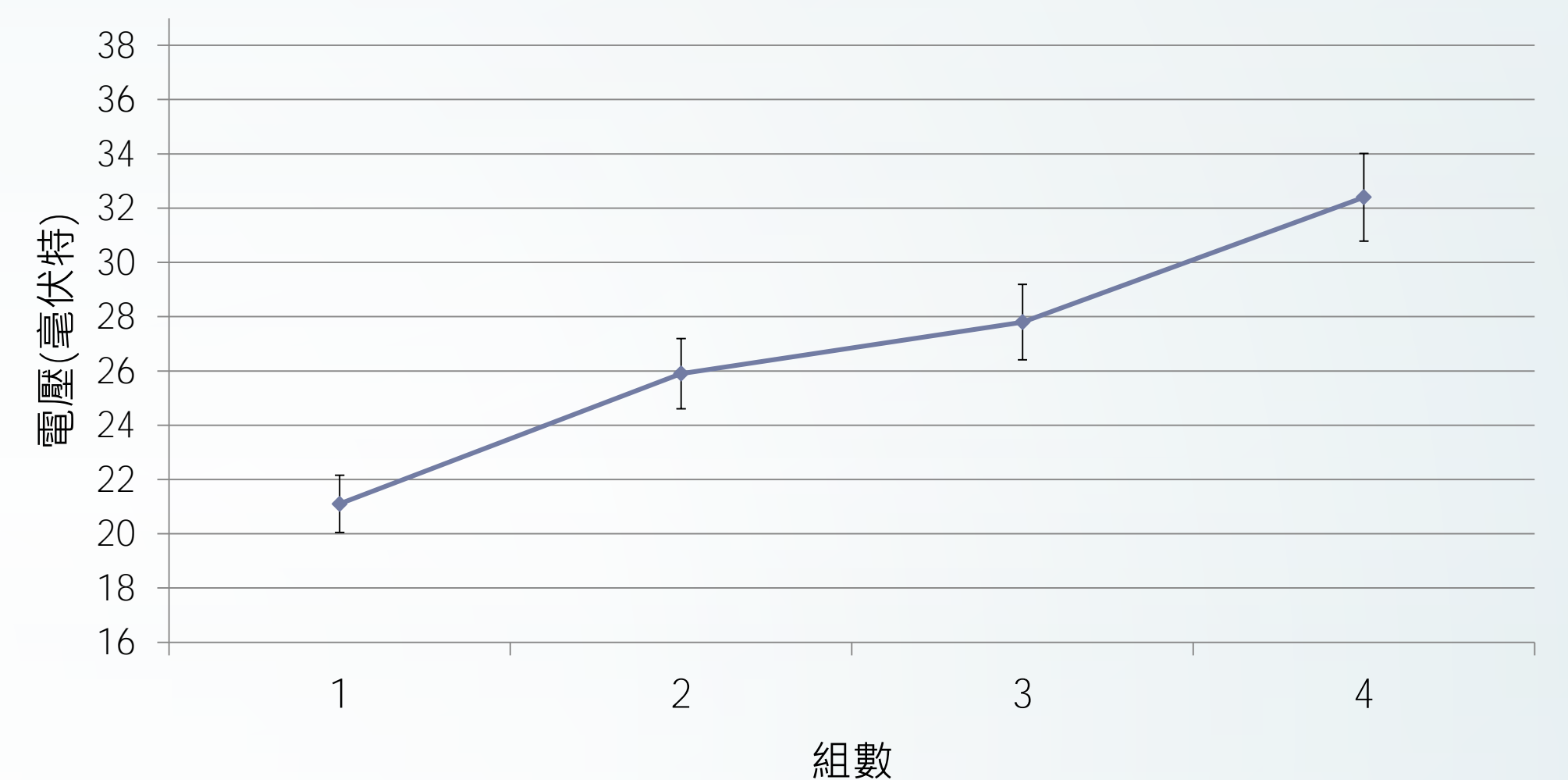


圖19 氧化鋅凝膠連接組數與電壓的關係

實驗十四：氧化鋅凝膠層數不同時的發電電壓

形式	實驗方法及裝置	電壓	電流
單層	兩銅片間塗布0.25 g凝膠	26 mV	70 μA
雙層	三銅片間各塗布0.25 g凝膠	140 mV	60 μA



圖20 單層電壓及電流測量

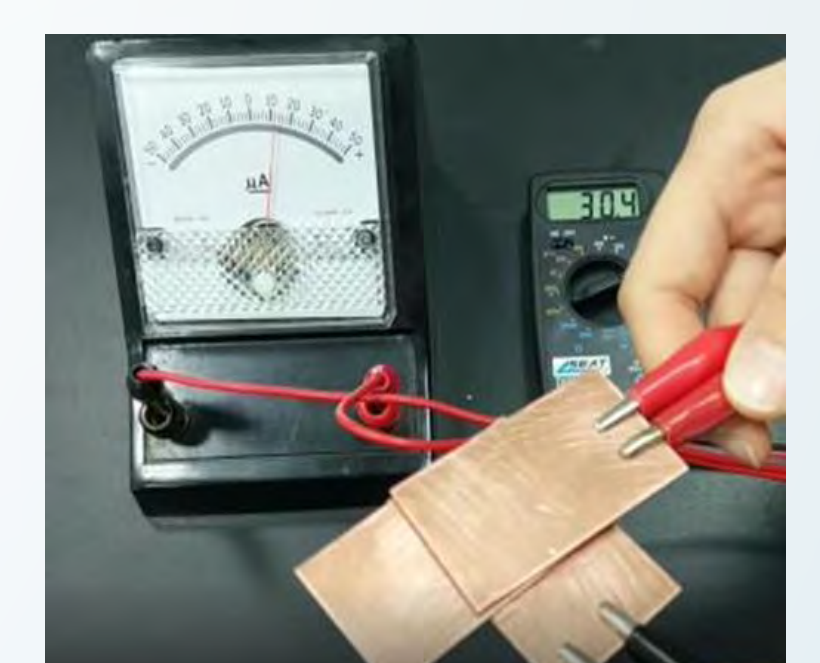


圖21 雙層電壓及電流測量

實驗十五：氧化鋅凝膠阻擋遮蔽紫外線的效果






圖22 使用紫外線強度計測量凝膠對紫外線的遮蔽效果

表2 紫外線強度測量結果及紫外線遮蔽率

凝膠體積	無遮蔽紫外線強度	凝膠遮蔽時的紫外線強度	遮蔽率
10 mL	2750 μW/cm ²	1520 μW/cm ²	44.73%
30 mL	2420 μW/cm ²	590 μW/cm ²	75.62%

實驗十六：使用鋁片、鐵片、鎳片與表面氧化銅片在食鹽水中反應製作凝膠

反應金屬	鋁	鐵	鎳
反應72小時後的情形	 圖23 鋁片與表面氧化銅	 圖24 鐵片與表面氧化銅	 圖25 鎳片與表面氧化銅
72小時金屬片質量變化(g)	-0.18 (6.7×10^{-3} mole)	-0.12 (2.1×10^{-3} mole)	-0.05 (8.0×10^{-4} mole)
金屬片減輕質量比較	鋁 > 鐵 > 鎳		

肆、討論

- 一. 本實驗製備氧化鋅的反應式為： $Zn + CuO \rightarrow ZnO + Cu$ ，反應生成的氧化鋅凝膠會沉降在容器底部，使用時需先將溶液上層澄清液取出，靜置待表面凝固，如圖26。
- 二. 導電及發電效果：表面氧化銅片及鋅片製作之凝膠 > 其他方式製作之凝膠。
- 三. 雙層凝膠的發電電壓較大，但電流比單層小。
- 四. 在將鋅片與氧化銅粉反應過程中，發現凝膠與空氣接觸面有一層薄膜，如圖27。根據參考資料二，氧化鋅薄膜主要製備方法有溶膠凝膠法、化學水浴沉積法、電化學沉積法等，與本實驗方法不同。
- 五. 鋅片與表面氧化銅片在食鹽水中反應完後，鋅與空氣接觸會繼續氧化，緩慢生成氧化鋅凝膠。一段時間後溶液水分蒸發，氧化鋅於鋅片表面結晶析出，如圖28。
- 六. 鋅片插入含有氧化銅粉末的食鹽水中，由於接觸表面積有限，生成凝膠緩慢，1個月後氧化銅無殘留且生成白色氧化鋅及半透明凝膠，如圖29。
- 七. 實驗五的三組中，以鋅片與表面氧化銅片反應鋅片質量減少最多，生成凝膠速率：鋅線圈與表面氧化銅線圈 > 鋅片與表面氧化銅片，線圈反應總表面積較大，且彎曲線圈形變大有利鋅氧化。
- 八. 將鋅片與表面氧化銅片浸泡於蒸餾水中，可產生絲狀的白色氧化鋅，但由於缺少電解質，無法形成凝膠。
- 九. 鋅與表面氧化銅片在氯化鈉或氯化鉀溶液中的反應速率，比在硝酸鉀或硝酸鈉溶液中大，顯示含有氯離子的溶液中，氧化鋅凝膠生成較快，其原因可能為氯離子能加速鋅的氧化。
- 十. 氫氧化鈉與鋅的反應為： $Zn + 2NaOH + 2H_2O \rightarrow Na_2[Zn(OH)_4] + H_2$ ，在溶液中加氫氧化鈉有利於鋅的氧化而加速凝膠生成，但無法提高凝膠發電電壓及電流。
- 十一. 90度彎曲的鋅片表面較易釋放電子，鋅氧化速率較大，因此氧化鋅凝膠生成量較弧形彎曲多。
- 十二. 外加磁場會降低氧化鋅凝膠的生成速率。在磁場中，帶正電的鋅離子於溶液中移動時會受力作用，當鋅離子運動方向與磁場方向平行時作用力最小，因此磁場方向與兩線圈連線方向平行時影響較小，而當兩N極相對且與兩線圈連線方向平行時影響最大。
- 十三. 實驗十三中，我們用氯化鈉水溶液取代凝膠做相同測試，但無發電效果，說明氯化鈉水溶液無法提高凝膠發電效果。
- 十四. 由於30 mL凝膠的厚度大於10 mL凝膠，因此紫外線遮蔽率較大。
- 十五. 將鋁片、鐵片、鎳片與表面氧化銅片置於氯化鈉水溶液中反應皆會有凝膠產生，且鋁、鐵、鎳三種金屬對氧的活性以鋁最大，較易放出電子，凝膠生成量最多。



圖26 實驗製備之凝膠



圖27 鋅與氧化銅粉反應液面形成薄膜



圖28 氧化鋅凝膠與氧化鋅晶體



圖29 白色氧化鋅及半透明凝膠

伍、結論

- 一. 鋅與氧化銅置於食鹽水中反應可產生氧化鋅凝膠，但使用鋅線圈與表面為氧化銅之銅線圈於食鹽水中反應時生成速率較快。
- 二. 影響氧化鋅凝膠生成的因素包括：電解質種類、電解液酸鹼值、鋅的形變程度、鋅片與空氣接觸面積的大小及外加磁場等。含有氯離子或添加鹼性物質的電解液，凝膠生成的速率較大，彎曲的鋅片或鋅片露出液面也有利於凝膠的生成，而外加磁場則會抑制凝膠的產生。
- 三. 氧化鋅凝膠具高吸水性，可吸收自身質量一倍以上的水，且有遮蔽紫外線的作用，能遮蔽75%以上的紫外線。此外，氧化鋅凝膠富有導電性及發電功能，發電電壓可達140 mV，電流達70 μ A，可進一步發展製作氧化鋅凝膠電池。
- 四. 利用鋁片、鐵片或鎳片與表面氧化銅片在食鹽水中反應，可製備不同金屬鹽的凝膠。
- 五. 本研究利用方便取得的材料，以簡易方法製備氧化鋅凝膠，研發出新穎且對環境無害的凝膠製作方法，具有推廣及創新應用的價值。

陸、參考資料

- 一. 史家瑩(2019)。國民中學自然與生活科技。翰林書局，2下，2-2氧化與還原，42-45。
- 二. 徐上焱(2018)。以溶膠凝膠法製作ZnO:Cu透明薄膜特性之研究。臺中：國立中興大學電機工程學系。