

# 中華民國第 51 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國中組 化學科

最佳團隊合作獎

030206

「硫晶」歲月—自製偵測器探討硫代硫酸鈉與鹽  
酸之反應速率

學校名稱：新竹市立光華國民中學

作者：  國一 葉亦心  國二 葉亦修  國二 林瑋晟	指導老師：  劉志慶  江月媚
---	-----------------------------

關鍵詞：光敏電阻、反應速率、奈米硫

# 「硫晶」歲月—自製偵測器探討硫代硫酸鈉與鹽酸之反應速率

## 摘要

本研究利用光敏電阻、可變電阻、比較器、LED 光源、蜂鳴器及電路開關等，設計一個簡單又實用的微型反應速率偵測器，進而以此裝置探討影響硫代硫酸鈉和鹽酸反應速率的各種變因。

首先，改變硫代硫酸鈉溶液的濃度，實驗得知硫代硫酸鈉的濃度與反應速率約為一級反應；接著，改變鹽酸溶液的濃度，實驗得知鹽酸濃度與反應速率約為零級至一級之間；再者，當溫度升高時，反應速率明顯加快；之後，我們研究添加清潔劑對硫晶體堆積的影響，結果清潔劑明顯延遲硫晶體的堆積；最後，我們又研究添加金屬鹽對硫晶體堆積的影響，結果亦產生延遲現象。為了更精確觀測反應過程中，硫粒子的粒徑變化情形，我們又以動態光散射儀(DLS)發現硫粒子從奈米級漸漸堆積長大。

## 壹、研究動機

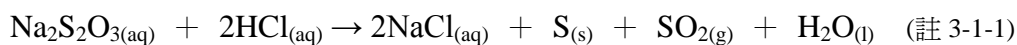
在國中二年級的自然與生活科技課本裡，介紹硫代硫酸鈉和鹽酸反應時，會產生黃色的晶體硫，因為反應速率很快，且容易觀察，所以常用來測定影響化學反應速率的各種變因，而且以產物黃色的硫遮住白紙上的黑色十字記號，作為反應的終點。不過，這樣的終點判斷似乎不太精確，於是本組成員決定利用光敏電阻等材料自製反應終點偵測器，使晶體硫的產物終點，更趨近一致。進而探討濃度、溫度、添加物(清潔劑、金屬鹽)…等，對本反應的影響，果然，我們得到了許多意外的發現……。

## 貳、研究目的

- 一、利用光敏電阻自製反應終點偵測器
- 二、測定不同濃度的硫代硫酸鈉溶液對反應速率的影響
- 三、測定不同濃度的鹽酸溶液對反應速率的影響
- 四、測定不同溫度時硫代硫酸鈉與鹽酸的反應速率
- 五、加入清潔劑，測定奈米硫晶體生成速率
- 六、改變清潔劑的種類及濃度，測定奈米硫晶體生成速率
- 七、加入金屬鹽，測定奈米硫晶體生成速率
- 八、改變金屬鹽的種類及濃度，測定奈米硫晶體生成速率

## 參、原理探討

一、硫代硫酸鈉和鹽酸的反應方程式：



二、影響反應速率的因素：一個化學反應能否發生？決定於粒子間的相互碰撞，而且是有效的碰撞(足夠的能量及正確的位向)，故影響反應速率的因素包括「物質的本性」、「濃度」、「接觸面積」、「溫度」及「催化劑」等。

- 1.按照碰撞學說，若反應物分子碰撞頻率愈高，反應速率就可能愈快。在勻相反應中，反應速率和反應物濃度某次方成正比；而在非勻相反應中，則和反應物的濃度關係不大，卻和接觸面積關係較大。亦即在勻相反應中，增大反應物的濃度，能增大碰撞頻率，進而增大有效碰撞頻率，而次方關係必須由實驗數據加以判斷。(註 3-2-1)
- 2.溫度提高時，主因是分子動能增加，使得超越低限能(註 3-2-2)的分子數增加，故反應速率加快。此外，次因則是分子的碰撞頻率也隨之增加，故總碰撞頻率也增加，故反應速率更加快。

三、膠體溶液：分散系中粒子之大小介於真溶液與懸浮液之間，約 1-100nm。可以分散光線，產生「廷得耳效應」(註 3-3-1)，膠體溶液相當安定，不易沉澱，也不會溶於溶劑中，而是維持懸浮分散在液體中，可以透過濾紙，但速度較真溶液為慢，且靜置也不發生沉澱。

四、自製反應終點偵測器：

- 1.利用光敏電阻改變比較器之正極輸入端的電壓：因電路串聯，電流固定，電壓與電阻成正比。當水溶液愈清澈，光源通過光敏電阻的亮度愈大，則電阻愈小，故電壓愈小；反之，水溶液濁度增加時，通過光敏電阻的亮度減小，則電阻增加，故電壓增加。即接比較器的正極輸入端電壓值會隨著濁度增加而增加。
- 2.利用可變電阻調整靈敏度：比較器之負極輸入端電壓由  $9\text{V} \times V_R / (10\text{K}\Omega + V_R)$  關係式決定， $V_R$  的值可由使用者調整，從而改變動作點。本實驗設定  $V_R$  為  $20\text{K}\Omega$ ，故接比較器的負極輸入端電壓值為  $9\text{V} \times 2/3 = 6\text{V}$ 。
- 3.若比較器之輸入端電壓  $V_+ < V_-$  時，比較器輸出之電壓為  $0\text{V}$ ，則蜂鳴器沒有反應；反之，當  $V_+ > V_-$  時，比較器輸出之電壓為  $9\text{V}$ ，故蜂鳴器發出聲響。
- 4.本實驗設計加裝蜂鳴器提示實驗操作者，反應終點已經達到。而且利用光敏電阻、可變電阻及比較器，設定每一次實驗反應終點硫粒子水溶液的濁度均相同。

註 3-1-1：本反應屬於勻相反應。

註 3-2-1：有效碰撞頻率 = 總碰撞頻率 × 有效碰撞分率

註 3-2-2：「低限能」是指分子會發生反應所需要的特定能量。

註 3-3-1：當一到很強的光通過膠體溶液時，由於膠體粒子較大，足以散射光線的緣故，使得這道光線清楚可見，稱為「廷得耳效應」。

## 肆、研究器材與設備

### 一、研究器材與設備

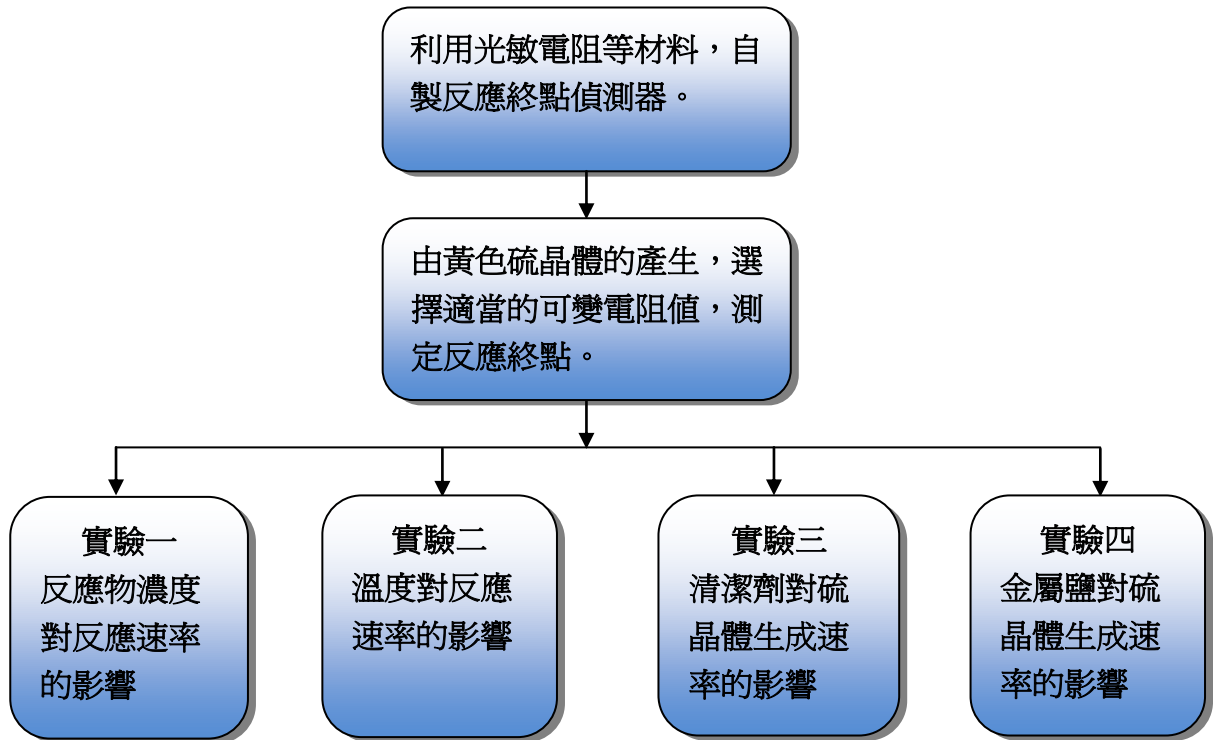
(一)電子天平	1 台
(二)光敏電組	1 個
(三)可變電阻	1 組
(四)比較器	1 個
(五)蜂鳴器	1 個
(六)LED 燈	1 個
(七)電池組及電源開關	1 組
(八)麵包板	1 片
(九)燒杯(500ml、250ml、100ml)	6 個
(十)量筒(10ml)	2 個
(十一)試管及試管架	1 組
(十二)溫度計	1 支
(十三)加熱裝置	1 組
(十四)碼表	1 個
(十五)綠光雷射筆	1 支
(十六)濁度計	1 台
(十七)其他(滴管、玻棒、刮勺、火柴、 秤量紙、鋁箔紙…等)	少許

### 二、研究材料及藥品

(一)硫代硫酸鈉	1 瓶
(二)鹽酸	1 瓶
(三)清潔劑(市售 4 種)	1 瓶
(四)氯化鈉	1 瓶
(五)硝酸鉀	1 瓶
(六)硫酸鈣	1 瓶
(七)碳酸氫鈉	1 瓶
(八)氫氧化鈉	1 瓶

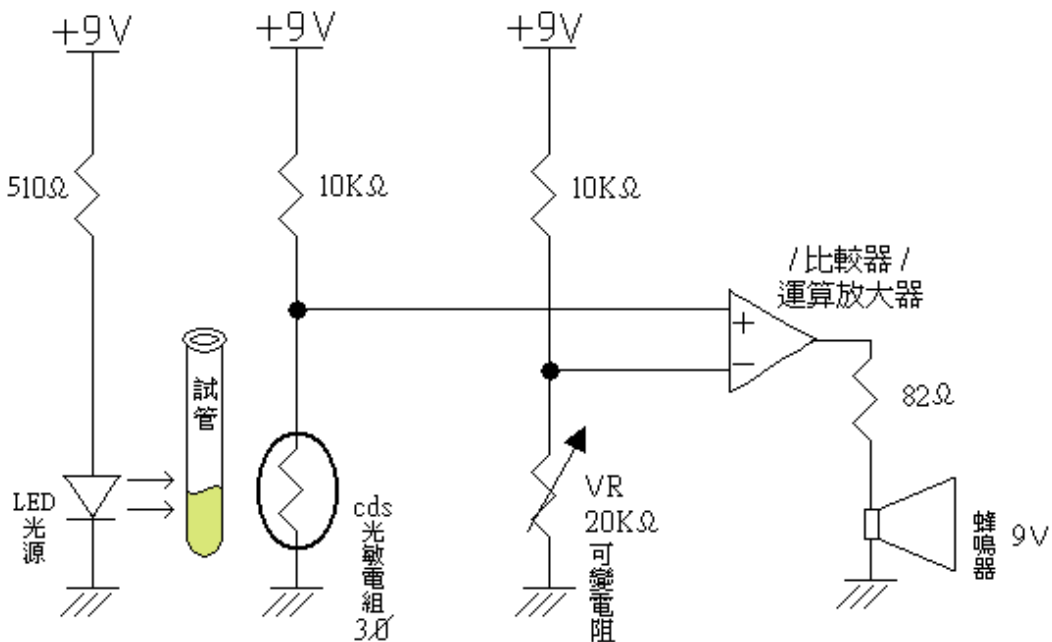
## 伍、研究方法與過程

實驗流程圖



### 一、自製反應終點偵測器：

1. 裝置設計圖如下：(此設計圖由本組成員討論後親自繪製)



## 二、測定不同濃度的硫代硫酸鈉溶液對反應速率的影響：

- 1.分別配置 1M 的  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3(\text{aq})$  50ml 及 3M 的  $\text{HCl}(\text{aq})$  50ml 備用。
  - 2.取 1M 的  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3(\text{aq})$  稀釋為 0.8M、0.6M、0.4M、0.2M、0.1M。
  - 3.以試管 A、試管 B 分別加入 1M 的  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3(\text{aq})$  2ml 及 3M 的  $\text{HCl}(\text{aq})$  2ml。
  - 4.將試管 A 放入偵測器的洞口中，再將試管 B 的試液倒入試管 A，開始計時，直到蜂鳴器發出聲響，停止計時，並觀察硫晶體的產生及顏色變化。(註 5-2-1)
  - 5.記錄當時溫度及反應時間。
  - 6.改變  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3(\text{aq})$  的濃度為 0.8M、0.6M、0.4M、0.2M、0.1M，重複步驟 3~5。
- 註 5-2-1：等體積混合後，硫代硫酸鈉的初濃度為 0.5M，鹽酸的初濃度為 1.5M，以下的濃度計算亦然。  
故各項研究結果依混合後的濃度記錄。

## 三、測定不同濃度的鹽酸溶液對反應速率的影響：

- 1.取 3M 的  $\text{HCl}(\text{aq})$  稀釋為 2M、1M、0.5M、0.3M、0.1M。
  - 2.以試管 A、試管 B 分別加入 1M 的  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3(\text{aq})$  2ml 及 3M 的  $\text{HCl}(\text{aq})$  2ml。
  - 3.將試管 A 放入偵測器的洞口中，再將試管 B 的試液倒入試管 A，開始計時，直到蜂鳴器發出聲響，停止計時，並觀察硫晶體的產生及顏色變化。(註 5-3-1)
  - 4.記錄當時溫度及反應時間。
  - 5.改變  $\text{HCl}(\text{aq})$  的濃度為 2M、1M、0.5M、0.3M、0.1M，重複步驟 2~4。
- 註 5-3-1：等體積混合後，硫代硫酸鈉的初濃度為 0.5M，鹽酸的初濃度為 1.5M

## 四、測定不同溫度時硫代硫酸鈉與鹽酸的反應速率：

- 1.以試管 A、試管 B 分別加入 0.1M 的  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3(\text{aq})$  2ml 及 0.2M 的  $\text{HCl}(\text{aq})$  2ml。
  - 2.同時置入水浴中，測量水溫。
  - 3.將兩支試管取出，並將試管 A 放入偵測器的洞口中，再將試管 B 的試液倒入試管 A，開始計時，直到蜂鳴器發出聲響，停止計時，並觀察硫晶體的產生及顏色變化。(註 5-4-1)
  - 4.記錄反應溫度及反應時間。
  - 5.改變溫度(每次升高 5°C)，重複步驟 1~4。
- 註 5-4-1：等體積混合後，硫代硫酸鈉的初濃度為 0.05M，鹽酸的初濃度為 0.1M，此項設計與濃度變因的初濃度不同，是爲了減緩反應速率，以便於觀察並減少實驗誤差。

## 五、加入清潔劑，測定奈米硫晶體生成速率：

- 1.先以濁度計測定市售清潔劑的濁度值，判斷其是否會影響偵測器的準確度。
- 2.再以試管 A、試管 B 分別加入 0.2M 的  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3(\text{aq})$  1ml 及 0.2M 的  $\text{HCl}(\text{aq})$  2ml。
- 3.另取市售清潔劑 1ml，先加入試管 A 中混合均勻。
- 4.將試管 A 放入偵測器的洞口中，再將試管 B 的試液倒入試管 A，開始計時，直到蜂鳴器發出聲響，停止計時，並觀察硫晶體的產生及顏色變化。(註 5-5-1)
- 5.以 50mw 綠光雷射筆照射試管，測定廷得耳效應，並觀察奈米硫晶體的變化。
- 6.以動態光散射儀(DLS)觀察硫粒子大小隨時間的變化情形。
- 7.記錄反應溫度及反應時間。

8.本實驗須先做空白實驗。(量取蒸餾水 1ml，加入試管 A 中混合均勻，餘如步驟 4~6。)  
註 5-5-1：混合後，硫代硫酸鈉的初濃度為 0.05M，鹽酸的初濃度為 0.1M。

六、改變清潔劑的種類及濃度，測定奈米硫晶體生成速率：

- 1.以試管 A、試管 B 分別加入 0.2M 的  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3(\text{aq})$  1ml 及 0.2M 的  $\text{HCl}(\text{aq})$  2ml。
  - 2.另取市售清潔劑 1ml，分別稀釋 1~6 倍，並加入試管 A 中混合均勻。
  - 3.將試管 A 放入偵測器的洞口中，再將試管 B 的試液倒入試管 A，開始計時，直到蜂鳴器發出聲響，停止計時，並觀察硫晶體的產生及顏色變化。(註 5-6-1)
  - 4.記錄反應溫度及反應時間。
  - 5.改變清潔劑的種類，重複步驟 1~4。
- 註 5-6-1：混合後，硫代硫酸鈉的初濃度為 0.05M，鹽酸的初濃度為 0.1M。

七、加入金屬鹽，測定奈米硫晶體生成速率：

- 1.先以濁度計測定添加之金屬鹽溶液的濁度值，判斷其是否會影響偵測器的準確度。
- 2.再以試管 A、試管 B 分別加入 0.2M 的  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3(\text{aq})$  1ml 及 0.2M 的  $\text{HCl}(\text{aq})$  2ml。
- 3.配置 0.2M 的  $\text{NaCl}(\text{aq})$  1ml，先加入試管 A 中混合均勻。
- 4.將試管 A 放入偵測器的洞口中，再將試管 B 的試液倒入試管 A，開始計時，直到蜂鳴器發出聲響，停止計時，並觀察硫晶體的產生及顏色變化。(註 5-7-1)
- 5.記錄反應溫度及反應時間。
- 6.改變金屬鹽的種類，重複步驟 2~5。
- 7.本實驗須先做空白實驗。(量取蒸餾水 1ml，加入試管 A 中混合均勻，餘如步驟 3~5。)  
註 5-7-1：混合後，硫代硫酸鈉的初濃度為 0.05M，鹽酸的初濃度為 0.1M，金屬鹽的濃度為 0.05M。

八、改變金屬鹽的種類及濃度，測定奈米硫晶體生成速率：

- 1.以試管 A、試管 B 分別加入 0.2M 的  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3(\text{aq})$  1ml 及 0.2M 的  $\text{HCl}(\text{aq})$  2ml。
- 2.配置 0.2M 的  $\text{NaCl}(\text{aq})$  1ml，先加入試管 A 中混合均勻。
- 3.將試管 A 放入偵測器的洞口中，再將試管 B 的試液倒入試管 A，開始計時，直到蜂鳴器發出聲響，停止計時，並觀察硫晶體的產生及顏色變化。
- 4.記錄反應溫度及反應時間。
- 5.稀釋  $\text{NaCl}(\text{aq})$  的濃度為 0.16M、0.12M、0.08M、0.04M、0.02M，重複步驟 1~4。
- 6.改變金屬鹽的種類為  $\text{KNO}_3(\text{aq})$ ，重複步驟 1~5。

## 陸、研究結果

### 一、自製反應終點偵測器：

#### 1. 黃色硫晶體產生且遮住黑色十字記號時：

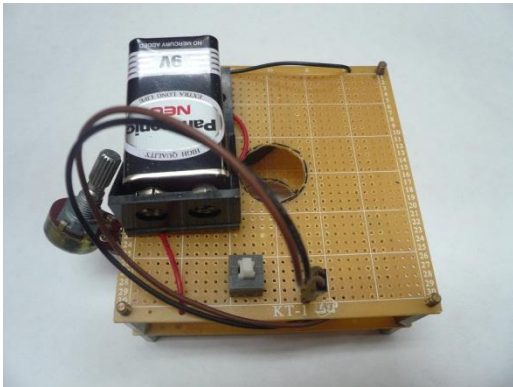
電壓值=9V

電流值=3.75mA

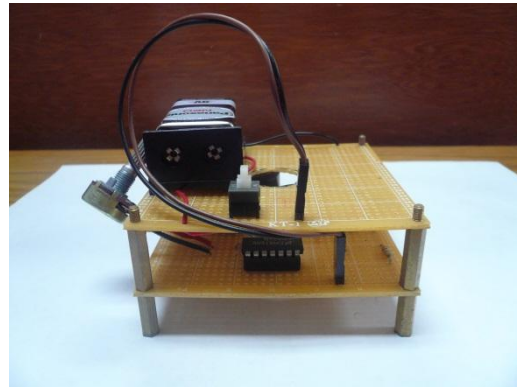
電阻值=2.4K $\Omega$

濁度值=650NTU

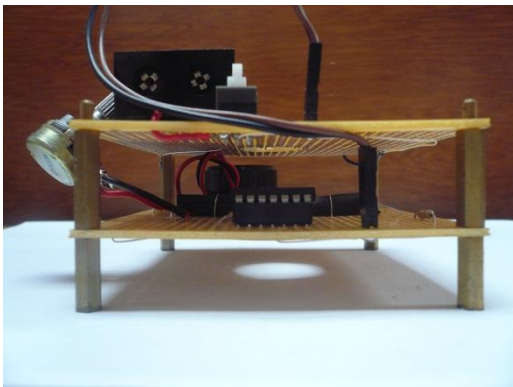
#### 2. 裝置完成實際圖片如下：



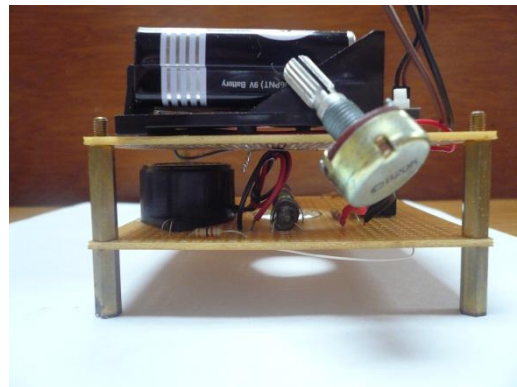
▲裝置俯視圖



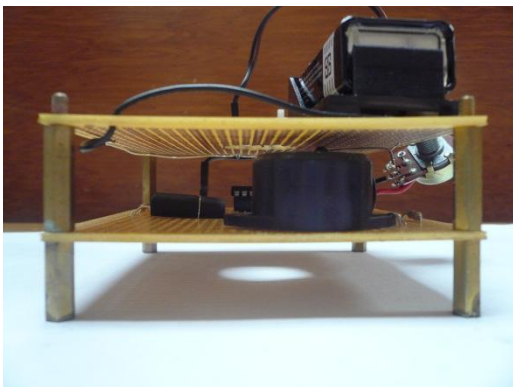
▲裝置全面圖



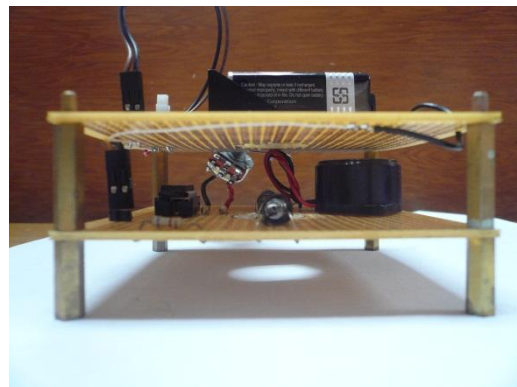
▲裝置側面圖(一)



▲裝置側面圖(二)



▲裝置側面圖(三)



▲裝置側面圖(四)



二、測定不同濃度的硫代硫酸鈉溶液對反應速率的影響：

表 6-2-1 不同濃度的硫代硫酸鈉溶液對反應速率的影響

次數	【Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3(aq)</sub> 】	【HCl <sub>(aq)</sub> 】	T(°C)	反應時間(秒)	時間倒數(1/秒)
1	0.5M	1.5M	17°C	7"04	1.42×10 <sup>-1</sup>
2	0.4M	1.5M	17°C	8"27	1.21×10 <sup>-1</sup>
3	0.3M	1.5M	17°C	9"53	1.05×10 <sup>-1</sup>
4	0.2M	1.5M	17°C	13"62	7.34×10 <sup>-2</sup>
5	0.1M	1.5M	17°C	32"23	3.10×10 <sup>-2</sup>
6	0.05M	1.5M	17°C	1'19"62	1.26×10 <sup>-2</sup>

圖 6-2-1 硫代硫酸鈉濃度(mol/l)與反應時間(sec)的關係

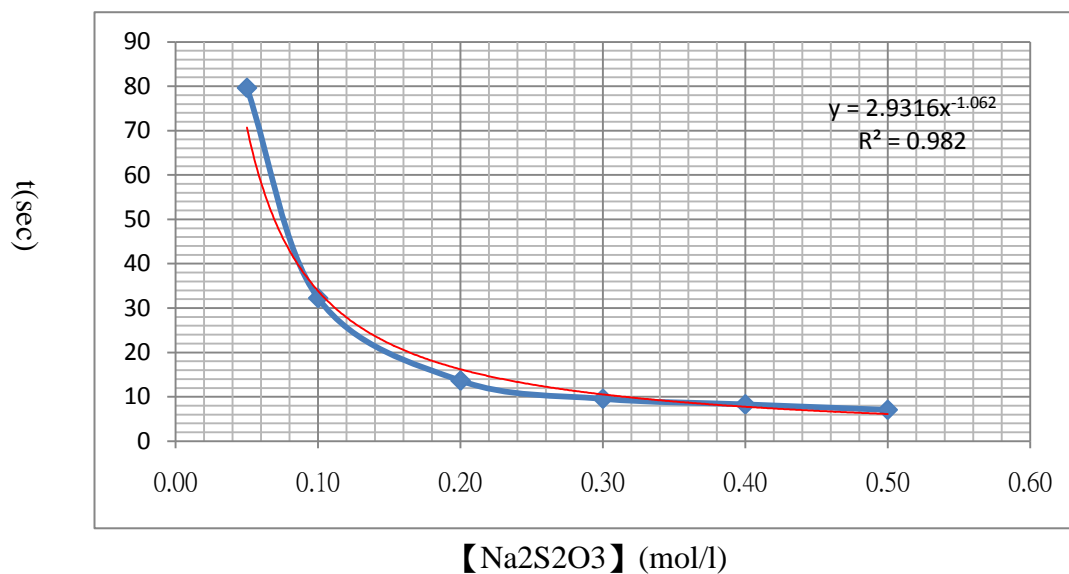
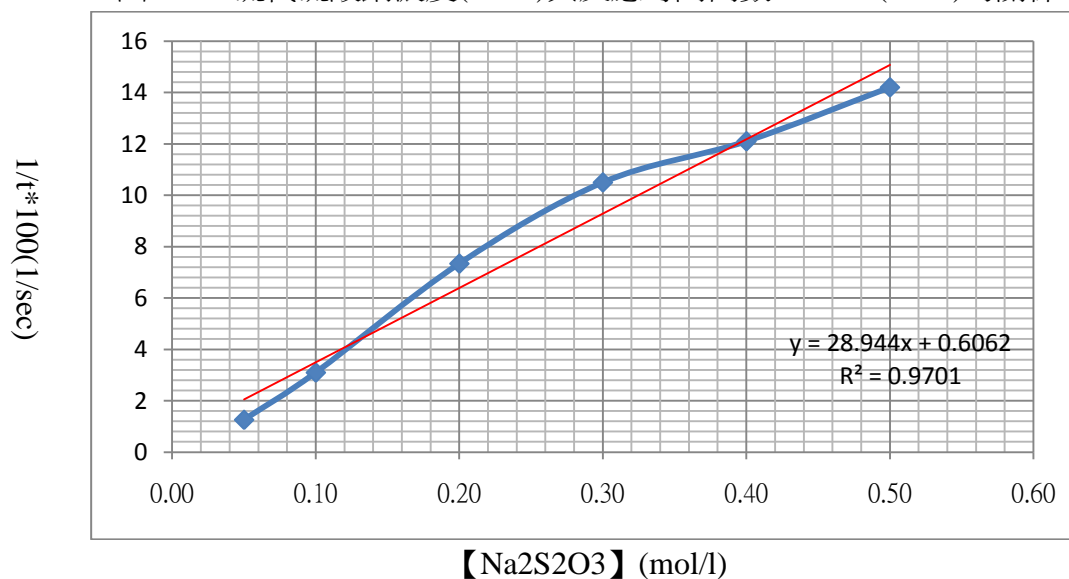


圖 6-2-2 硫代硫酸鈉濃度(mol/l)與反應時間倒數 1/t\*100(1/sec)的關係



由圖形得知，硫代硫酸鈉的濃度愈大，反應速率愈快，接近一級反應。且測量反應前溫度 17°C，反應後溫度 16°C，僅相差 1°C，故溫度變化不大。

三、測定不同濃度的鹽酸溶液對反應速率的影響：

表 6-3-1 不同濃度的鹽酸溶液對反應速率的影響

次數	【Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3(aq)</sub> 】	【HCl <sub>(aq)</sub> 】	T(°C)	反應時間(秒)	時間倒數(1/秒)
1	0.5M	1.5M	17°C	7"04	1.42×10 <sup>-1</sup>
2	0.5M	1.0M	17°C	7"16	1.40×10 <sup>-1</sup>
3	0.5M	0.5M	17°C	7"60	1.32×10 <sup>-1</sup>
4	0.5M	0.25 M	17°C	8"22	1.22×10 <sup>-1</sup>
5	0.5M	0.15 M	17°C	9"78	1.02×10 <sup>-1</sup>
6	0.5M	0.05 M	17°C	14"91	6.71×10 <sup>-2</sup>

圖 6-3-1 鹽酸濃度(mol/l)與反應時間(sec)的關係

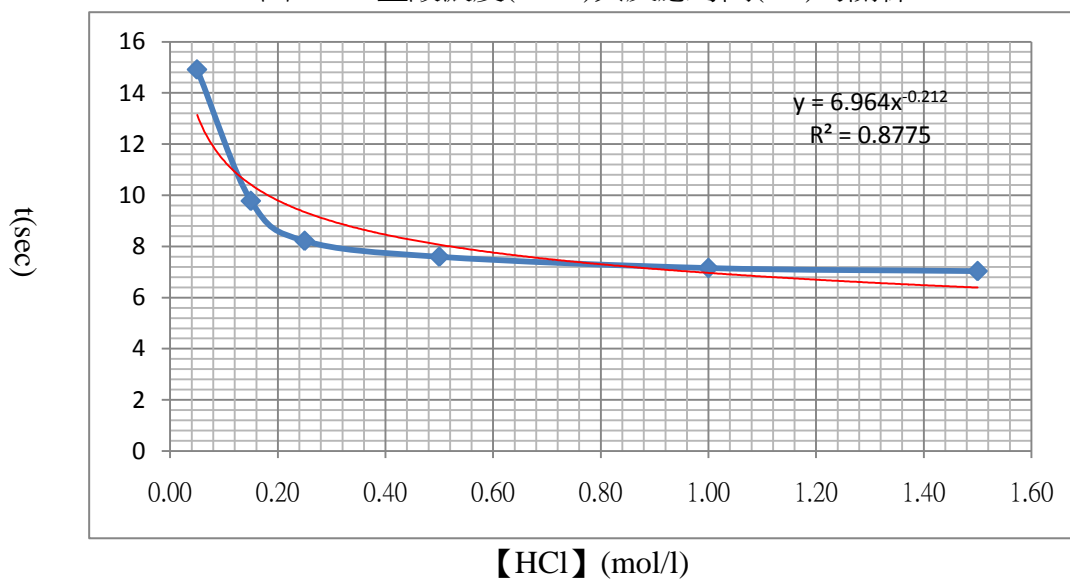
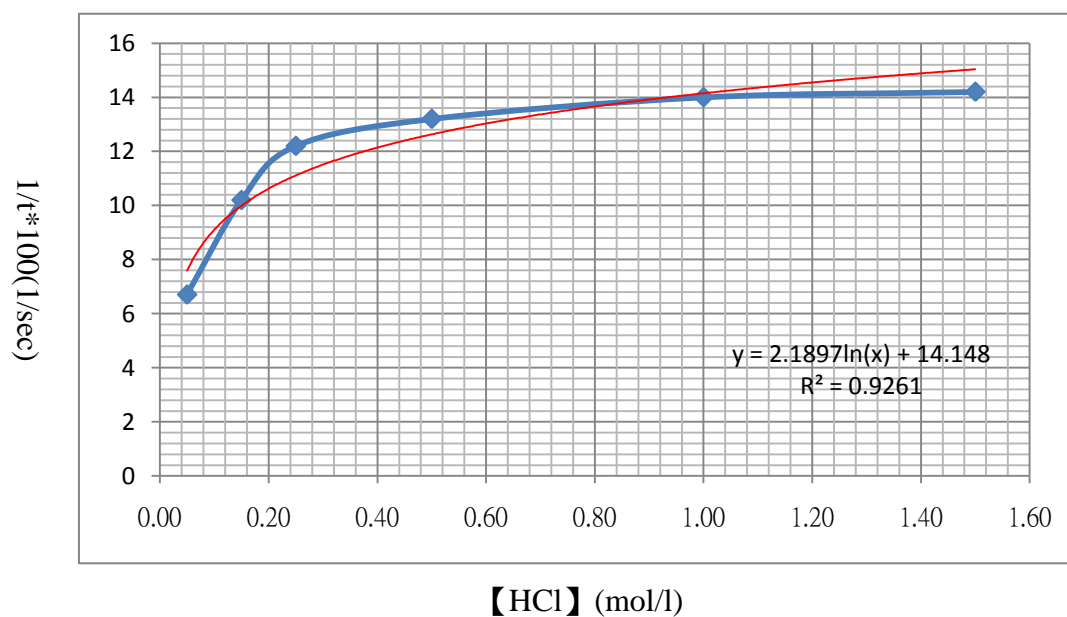


圖 6-3-2 鹽酸濃度(mol/l)與反應時間倒數  $1/t \times 100(1/sec)$ 的關係



由圖形得知，鹽酸的濃度愈大，反應速率愈快，約在零級至一級反應之間。

四、測定不同溫度時硫代硫酸鈉與鹽酸的反應速率：

表 6-4-1 不同溫度對反應速率的影響

次數	【Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3(aq)</sub> 】	【HCl <sub>(aq)</sub> 】	T(°C)	反應時間(秒)	時間倒數(1/秒)
1	0.05M	0.1M	17°C	3'40"72	4.53×10 <sup>-3</sup>
2	0.05M	0.1M	22°C	2'22"38	7.02×10 <sup>-3</sup>
3	0.05M	0.1M	27°C	1'23"16	1.20×10 <sup>-2</sup>
4	0.05M	0.1M	32°C	1'10"42	1.42×10 <sup>-2</sup>
5	0.05M	0.1M	37°C	1'00"43	1.66×10 <sup>-2</sup>
6	0.05M	0.1M	42°C	44"22	2.26×10 <sup>-2</sup>
7	0.05M	0.1M	47°C	29"34	3.41×10 <sup>-2</sup>
8	0.05M	0.1M	52°C	22"22	4.50×10 <sup>-2</sup>
9	0.05M	0.1M	57°C	16"63	6.01×10 <sup>-2</sup>

圖 6-4-1 溫度(°C)與反應時間(sec)的關係

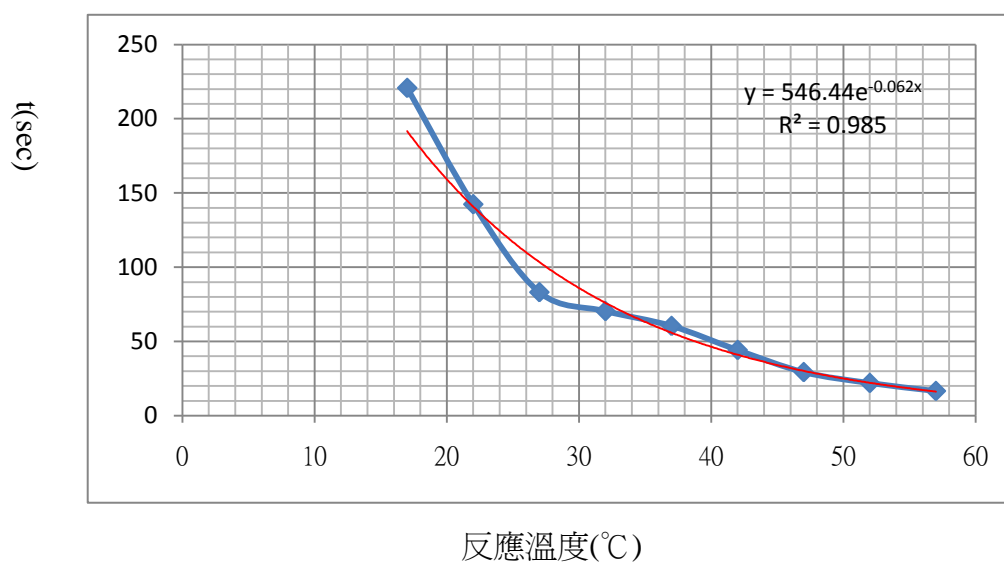
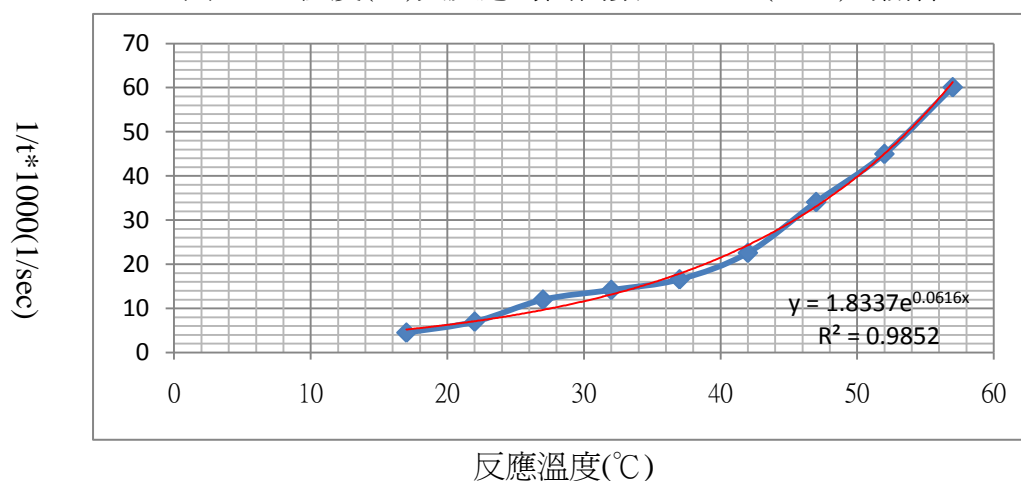


圖 6-4-2 溫度(°C)與反應時間倒數 1/t\*1000(1/sec)的關係



由圖形得知，溫度愈高，反應速率愈快。

五、加入清潔劑，測定奈米硫晶體生成速率：

1.市售清潔劑的濁度值測量結果：

表 6-5-1 市售清潔劑的濁度值比較

編號	品名	主要成分	屬性	濁度值 (NTU)
1	泡舒天然洗碗精	天然椰子油配方	非離子型界面活性劑	3.0
2	白熊軟性清潔劑	直鏈式軟性烷基苯磺酸鈉 (LAS)	陰離子型界面活性劑	2.6
3	威猛先生玻璃穩潔	特殊界面活性劑	陰離子型界面活性劑	0.85
4	Happy 天然冷洗精	十二烷基苯磺酸 (Dodecylbenzen sulfonic acid)	陰離子型界面活性劑	28

由測量結果得知，清潔劑的濁度值均很小，與黃色硫晶體產生且遮住黑色十字記號時的濁度值(650NTU)比較，可以忽略不計。

2. 加入清潔劑，測定奈米硫晶體生成速率：T=17°C

表 6-5-2 市售清潔劑對奈米硫晶體生成速率的比較

次數	【Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3(aq)</sub> 】	【HCl <sub>(aq)</sub> 】	清潔劑種類	反應時間(秒)	廷得耳效應
1	0.05M	0.1M	蒸餾水	3'11"38	有
2	0.05M	0.1M	泡舒天然洗碗精	4'21"36	有
3	0.05M	0.1M	白熊軟性清潔劑	4'38"54	有
4	0.05M	0.1M	威猛先生玻璃穩潔	7'12"04	有
5	0.05M	0.1M	Happy 天然冷洗精	17'39"03	有

圖 6-5-1 添加清潔劑與反應時間(sec)的關係

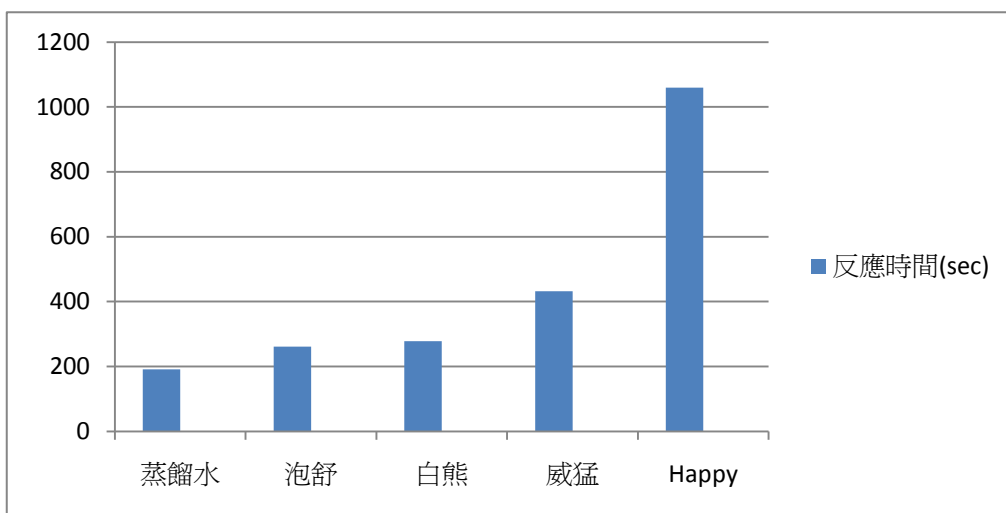
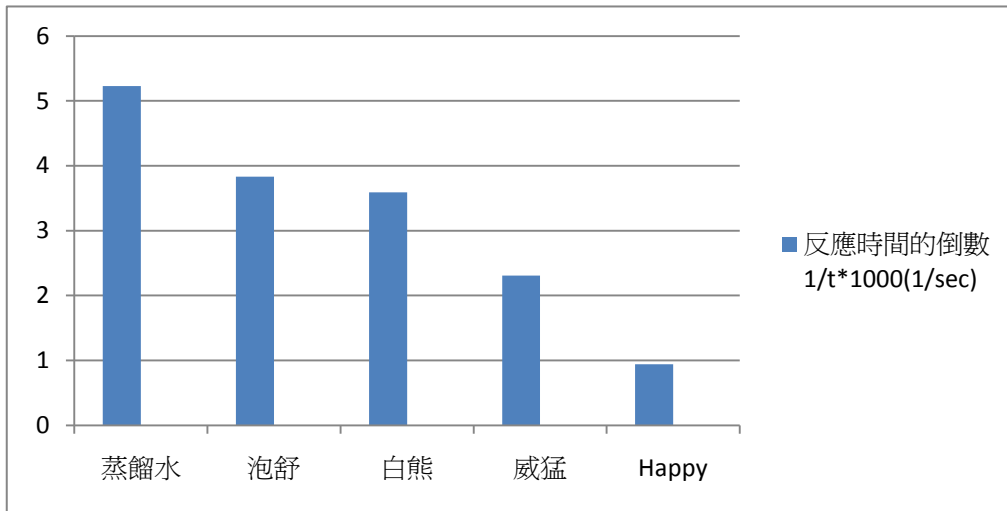


圖 6-5-2 添加清潔劑與反應時間的倒數  $1/t \times 1000 (1/\text{sec})$  的關係



由圖形得知，添加清潔劑會延遲硫晶體的堆積，而且以 Happy 天然冷洗精效果最明顯。

3. 以 50mW 綠光雷射筆檢驗硫膠體溶液的廷得耳效應：



▲ 蒸餾水未呈現廷得耳效應



▲ 奈米硫生成初期的廷得耳效應



▲ 奈米硫生成後期的廷得耳效應



▲ 硫晶體堆積使得廷得耳效應消失

由實驗結果得知，在延遲過程中，很明顯可以觀測到硫粒子漸漸變大。

4.以 DLS 測定硫粒子堆積情形：T=25°C

對照組溶液配置：

0.5ml 0.2M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + 0.5ml H<sub>2</sub>O + 1ml 0.2M HCl

→The volume of total solution is 2 ml

實驗組溶液配置：

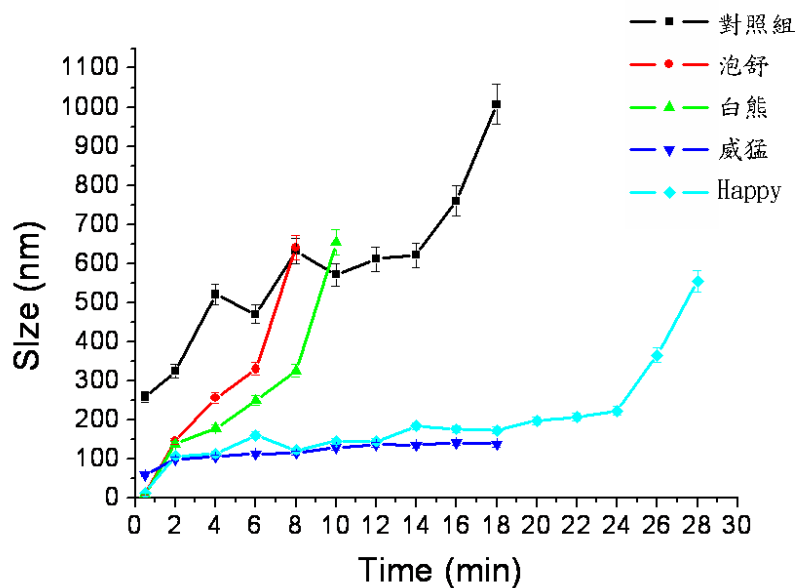
0.5ml 0.2M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + 0.5ml 界面活性劑 + 1ml 0.2M HCl

→The volume of total solution is 2 ml

表 6-5-3 界面活性劑對硫粒子生成之效應：(單位：nm)

Time (min)	Ref	泡舒	白熊	威猛	happy
0.5	258.6	8.759	9.542	59.37	13.78
2	324.5	145.6	138.8	99.64	106.7
4	521.2	255.9	179	105.7	113.2
6	470.2	330.2	249.7	113.2	161.1
8	631.5	640.9	326.1	115.3	121.8
10	571.6	--	654.1	129	145
12	611.3	--	--	136.7	145.3
14	621.5	--	--	135.5	184.1
16	760.1	--	--	141.3	176
18	1007	--	--	138.1	172.9
20	--	--	--	--	198.2
22	--	--	--	--	207.1
24	--	--	--	--	223
26	--	--	--	--	365.3
28	--	--	--	--	554.5

圖 6-5-3 界面活性劑對硫粒子生成之效應



實驗結果顯示奈米硫存在的事實，且威猛及 Happy 的延遲效果較好。

六、改變清潔劑的種類及濃度，測定奈米硫晶體生成速率：T=17°C

1. 泡舒天然洗碗精

表 6-6-1 泡舒天然洗碗精濃度與反應時間的關係

次數	【Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3(aq)</sub> 】	【HCl <sub>(aq)</sub> 】	泡舒天然洗碗精	反應時間(秒)	時間倒數(1/秒)
1	0.05M	0.1M	不添加	3'11"38	5.02×10 <sup>-3</sup>
2	0.05M	0.1M	1ml-不稀釋	4'21"36	3.83×10 <sup>-3</sup>
3	0.05M	0.1M	1ml-稀釋 2 倍	5'16"28	3.16×10 <sup>-3</sup>
4	0.05M	0.1M	1ml-稀釋 3 倍	6'24"83	2.60×10 <sup>-3</sup>
5	0.05M	0.1M	1ml-稀釋 4 倍	5'57"32	2.80×10 <sup>-3</sup>
6	0.05M	0.1M	1ml-稀釋 5 倍	5'22"47	3.10×10 <sup>-3</sup>
7	0.05M	0.1M	1ml-稀釋 6 倍	5'02"11	3.31×10 <sup>-3</sup>

圖6-6-1泡舒天然洗碗精濃度與反應時間的關係

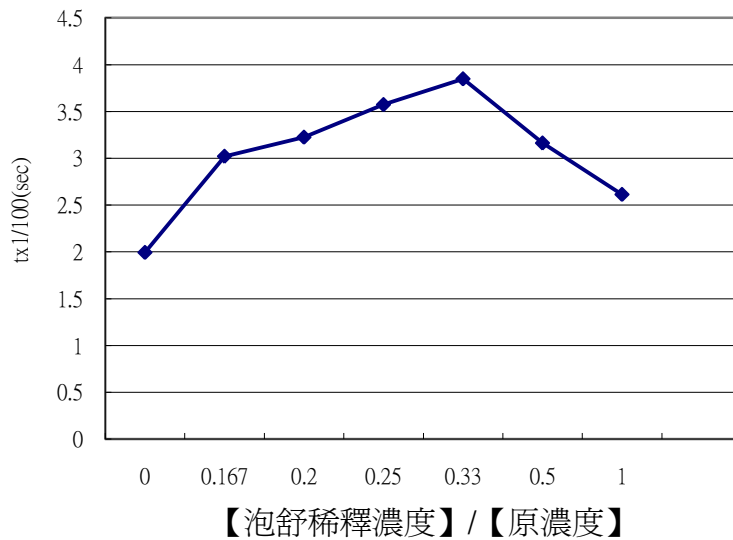
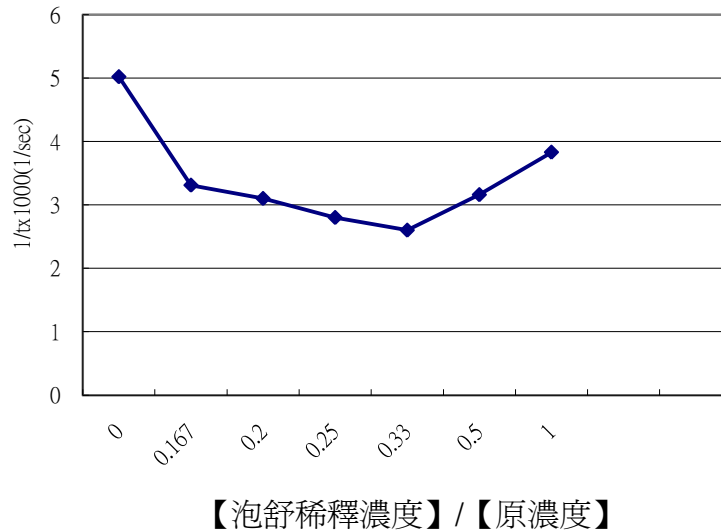


圖6-6-2 泡舒天然洗碗精濃度與反應時間倒數的關係



## 2. 白熊軟性清潔劑

表 6-6-2 白熊軟性清潔劑濃度與反應時間的關係

次數	【Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3(aq)</sub> 】	【HCl <sub>(aq)</sub> 】	白熊軟性清潔劑	反應時間(秒)	時間倒數(1/秒)
1	0.05M	0.1M	不添加	3'11"38	5.02×10 <sup>-3</sup>
2	0.05M	0.1M	1ml-不稀釋	4'38"54	3.59×10 <sup>-3</sup>
3	0.05M	0.1M	1ml-稀釋 2 倍	6'55"57	2.41×10 <sup>-3</sup>
4	0.05M	0.1M	1ml-稀釋 3 倍	7'56"02	2.10×10 <sup>-3</sup>
5	0.05M	0.1M	1ml-稀釋 4 倍	6'07"63	2.72×10 <sup>-3</sup>
6	0.05M	0.1M	1ml-稀釋 5 倍	6'47"59	2.45×10 <sup>-3</sup>
7	0.05M	0.1M	1ml-稀釋 6 倍	5'49"03	2.87×10 <sup>-3</sup>

圖6-6-3白熊軟性清潔劑濃度與反應時間的關係

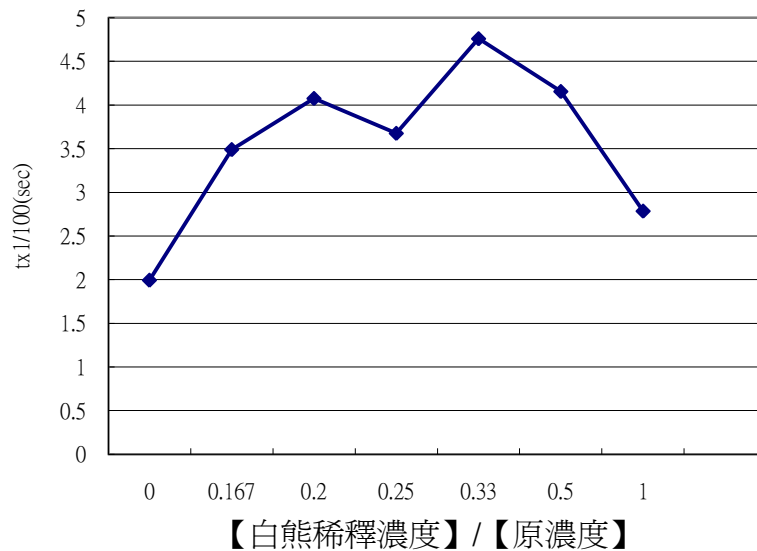
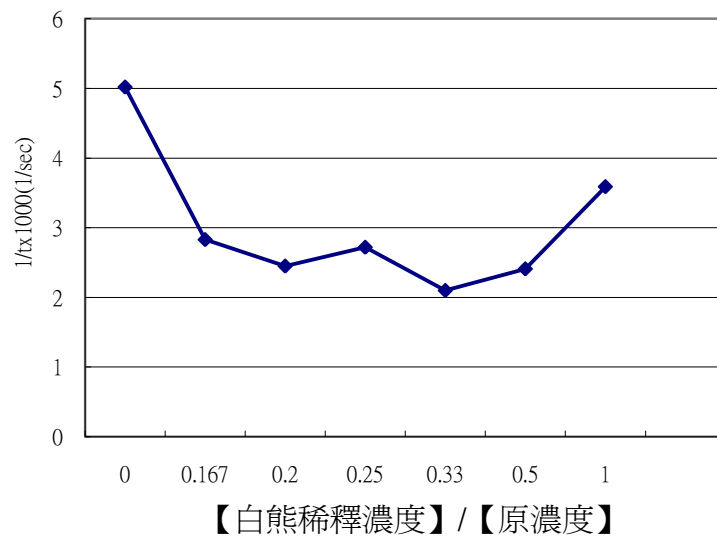


圖6-6-4白熊軟性清潔劑濃度與反應時間倒數的關係





### 3. 威猛先生玻璃穩潔

表 6-6-3 威猛先生玻璃穩潔濃度與反應時間的關係

次數	【Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (aq)】	【HCl(aq)】	威猛先生玻璃穩潔	反應時間(秒)	時間倒數(1/秒)
1	0.05M	0.1M	不添加	3'11"38	5.02×10 <sup>-3</sup>
2	0.05M	0.1M	1ml-不稀釋	7'12"04	2.31×10 <sup>-3</sup>
3	0.05M	0.1M	1ml-稀釋 2 倍	5'44"65	2.90×10 <sup>-3</sup>
4	0.05M	0.1M	1ml-稀釋 3 倍	6'21"32	2.62×10 <sup>-3</sup>
5	0.05M	0.1M	1ml-稀釋 4 倍	4'58"58	3.35×10 <sup>-3</sup>
6	0.05M	0.1M	1ml-稀釋 5 倍	4'57"28	3.36×10 <sup>-3</sup>
7	0.05M	0.1M	1ml-稀釋 6 倍	5'18"16	3.14×10 <sup>-3</sup>

圖6-6-5 威猛先生玻璃穩潔濃度與反應時間的關係

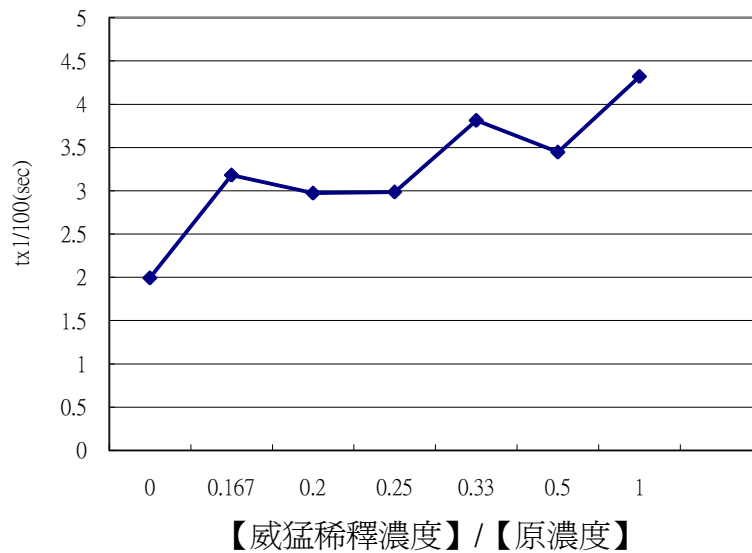
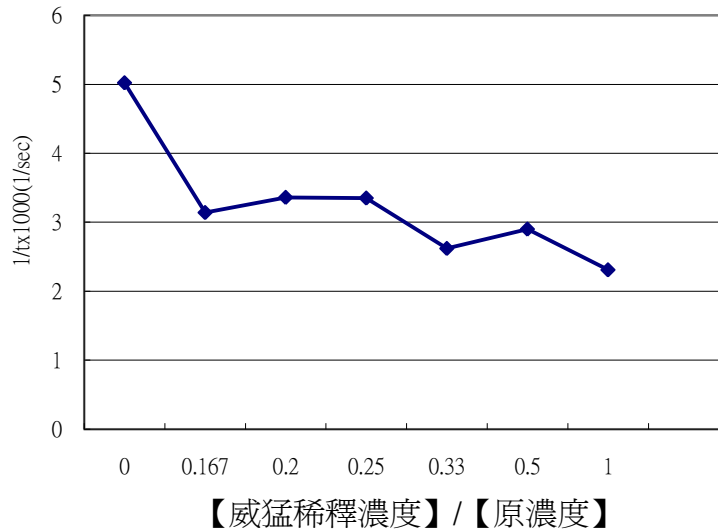


圖6-6-6 威猛先生玻璃穩潔濃度與反應時間倒數的關係



#### 4. Happy 天然冷洗精

Happy 天然冷洗精濃度與反應時間的關係

次數	【Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3(aq)</sub> 】	【HCl <sub>(aq)</sub> 】	Happy 天然冷洗精	反應時間(秒)	時間倒數(1/秒)
1	0.05M	0.1M	不添加	3'11"38	5.02×10 <sup>-3</sup>
2	0.05M	0.1M	1ml-不稀釋	17'39"03	9.44×10 <sup>-4</sup>
3	0.05M	0.1M	1ml-稀釋 2 倍	15'24"06	1.08×10 <sup>-3</sup>
4	0.05M	0.1M	1ml-稀釋 3 倍	8'52"31	1.88×10 <sup>-3</sup>
5	0.05M	0.1M	1ml-稀釋 4 倍	8'43"97	1.91×10 <sup>-3</sup>
6	0.05M	0.1M	1ml-稀釋 5 倍	10'43"44	1.55×10 <sup>-3</sup>
7	0.05M	0.1M	1ml-稀釋 6 倍	12'15"22	1.36×10 <sup>-3</sup>

圖6-6-7 Happy天然冷洗精濃度與反應時間的關係

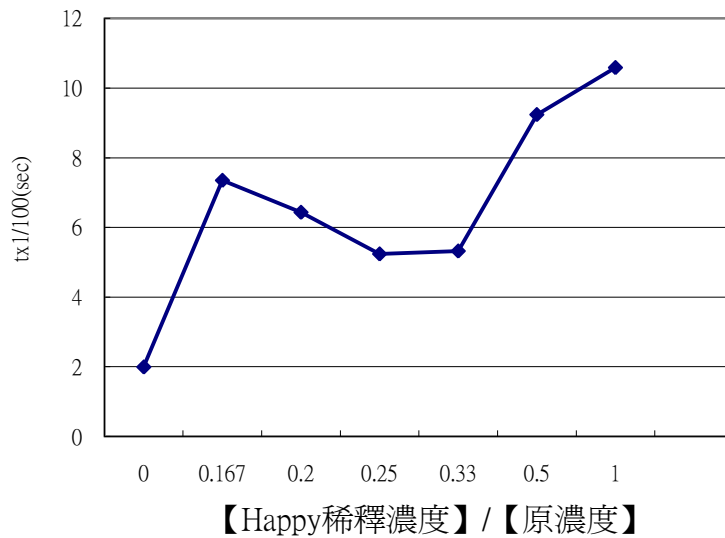
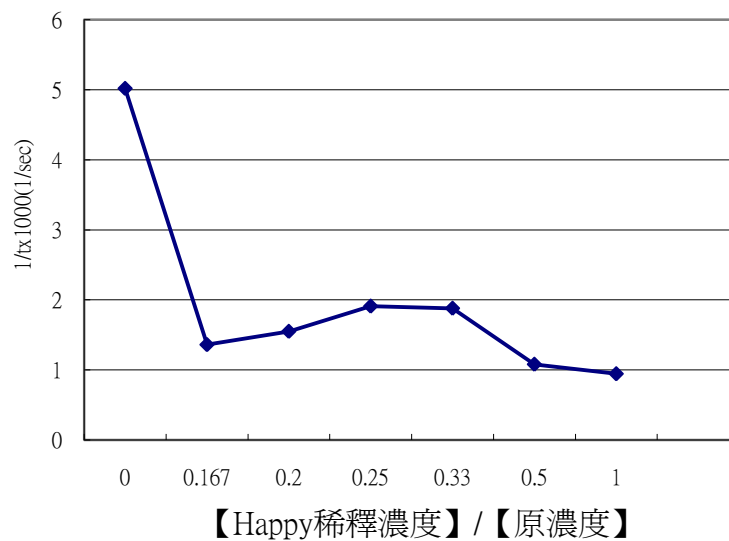


圖6-6-8 Happy天然冷洗精濃度與反應時間倒數的關係



由圖形得知，清潔劑的濃度改變時，延遲硫晶體的堆積的結果也不一樣，呈現不規則變化。泡舒天然洗碗精和白熊軟性清潔劑在稀釋 3 倍時，延遲效果最好。威猛先生玻璃穩潔和 Happy 天然冷洗精在不稀釋時，延遲效果最好。

#### 七、加入金屬鹽，測定奈米硫晶體生成速率：

##### 1. 各種離子化合物的濁度值測量結果：

表 6-7-1 各種離子化合物的濁度值比較

編號	品名	水溶液酸鹼性	濁度值(NTU)
1	0.05M NaCl	中性	1.8
2	0.05M KNO <sub>3</sub>	中性	0.85
3	0.05M CaSO <sub>4</sub>	中性，難溶於水，白色混濁	400
4	0.05M NaHCO <sub>3</sub>	鹼性(弱鹼)	0.2
5	0.05M NaOH	鹼性(強鹼)	0.9

由測量結果得知，易溶性離子化合物的透光度佳，濁度值均很小，與黃色硫晶體產生且遮住黑色十字記號時的濁度值(650NTU)比較，可以忽略不計。硫酸鈣為難溶性鹽，故濁度值較大，添加硫酸鈣溶液較易達到反應終點。

##### 2. 加入金屬鹽，測定奈米硫晶體生成速率：T=19°C

表 6-7-2 添加金屬鹽種類與反應時間的關係

次數	【Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3(aq)</sub> 】	【HCl <sub>(aq)</sub> 】	金屬鹽	反應時間(秒)	時間倒數(1/秒)
1	0.05M	0.1M	不添加	3'11"38	5.02×10 <sup>-3</sup>
2	0.05M	0.1M	0.5M NaCl	2'26"34	6.83×10 <sup>-3</sup>
3	0.05M	0.1M	0.5M KNO <sub>3</sub>	3'13"19	5.18×10 <sup>-3</sup>
4	0.05M	0.1M	0.5M CaSO <sub>4</sub>	2'47"12	5.98×10 <sup>-3</sup>
5	0.05M	0.1M	0.5M NaHCO <sub>3</sub>	產生氣泡，沒有沉澱。	-
6	0.05M	0.1M	0.5M NaOH	沒有沉澱	-
7	0.05M	0.1M	0.05M NaCl	3'24"63	4.89×10 <sup>-3</sup>
8	0.05M	0.1M	0.05M KNO <sub>3</sub>	4'22"06	3.82×10 <sup>-3</sup>
9	0.05M	0.1M	0.05M CaSO <sub>4</sub>	3'51"28	4.32×10 <sup>-3</sup>
10	0.05M	0.1M	0.05M NaHCO <sub>3</sub>	5'39"25	2.95×10 <sup>-3</sup>
11	0.05M	0.1M	0.05M NaOH	3'45"65	4.43×10 <sup>-3</sup>

圖6-7-1 添加金屬鹽種類與反應時間的關係

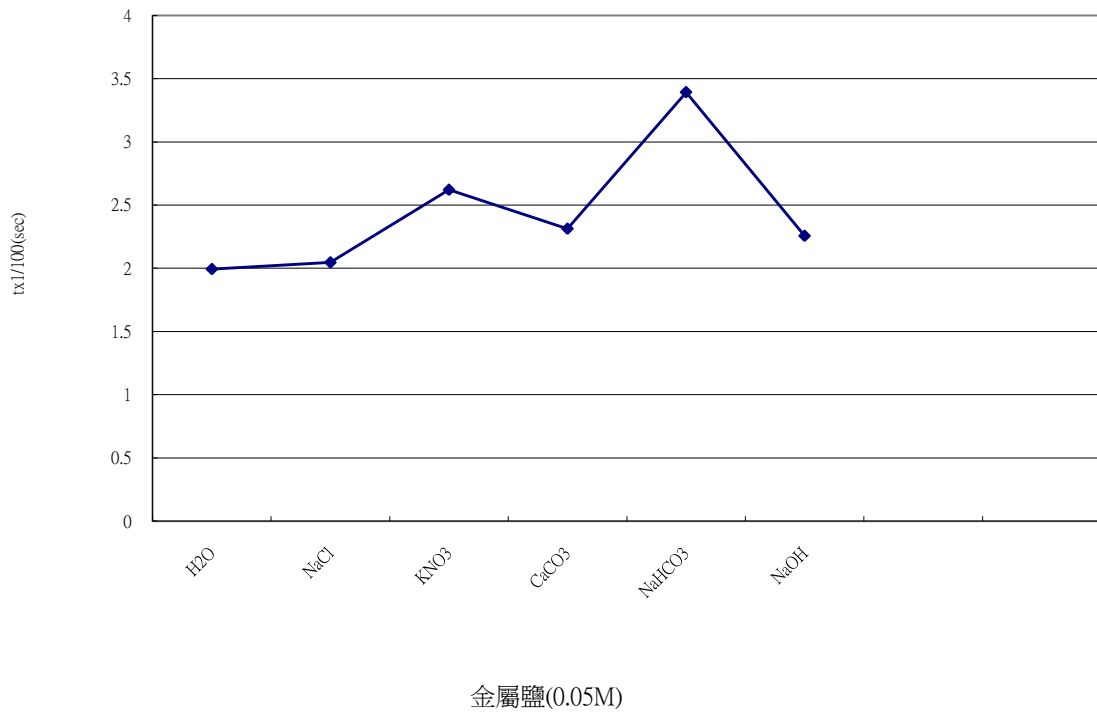
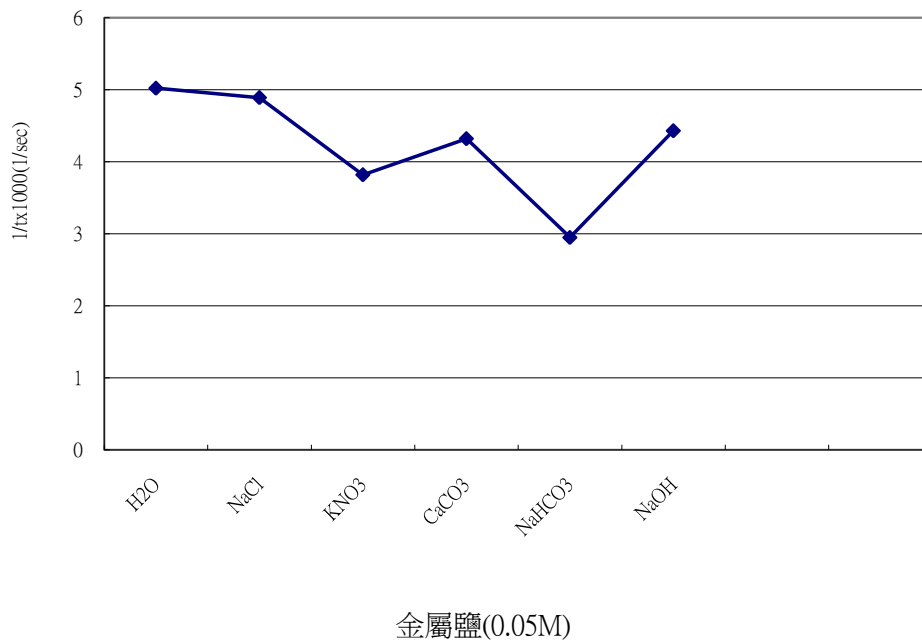


圖6-7-2 添加金屬鹽種類與反應時間倒數的關係



剛開始，未計算濃度的大小，加入 0.5M 的金屬鹽類時，鹼性的小蘇打及氫氧化鈉將鹽酸完全中和了，所以未產生硫晶體，並且小蘇打和鹽酸反應產生氣泡。後來以稀釋為 0.05M 的金屬鹽再作一次實驗，由圖形得知，大多金屬鹽均減緩反應速率，且以小蘇打最為明顯。

3. 以 DLS 測定硫粒子堆積情形：T=25°C

對照組溶液配置：

0.5ml 0.2M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + 0.5ml H<sub>2</sub>O + 1ml 0.2M HCl

→The volume of total solution is 2 ml

實驗組溶液配置：

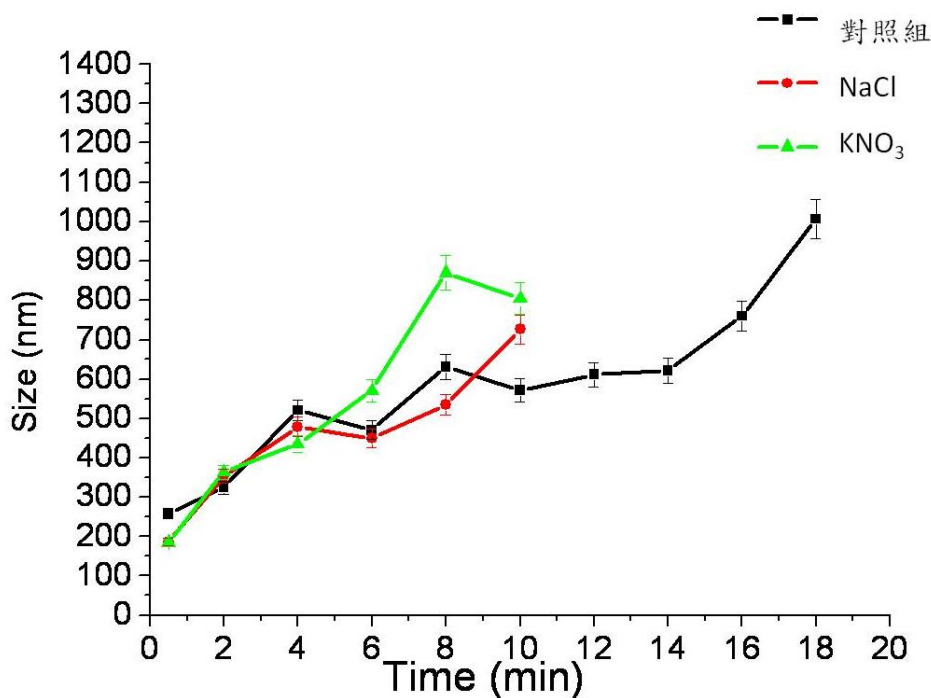
0.5ml 0.2M Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + 0.5ml 0.2M 金屬鹽溶液 + 1ml 0.2M HCl

→The volume of total solution is 2 ml

表 6-7-3 金屬鹽類對硫粒子生成之效應：(單位：nm)

Time(min)	Ref	NaCl	KNO <sub>3</sub>
0.5	258.6	187.1	184.5
2	324.5	352.9	363
4	521.2	478.9	435.7
6	470.2	449.6	570.4
8	631.5	535.4	870.2
10	571.6	726.2	804.8
12	611.3	--	--
14	621.5	--	--
16	760.1	--	--
18	1007	--	--

圖 6-7-3 金屬鹽類對硫粒子生成之效應



實驗結果顯示奈米硫存在的事實，且 NaCl 及 KNO<sub>3</sub> 在加入初期均能延遲硫粒子堆積。相較於對照組實驗，KNO<sub>3</sub> 於 5 分鐘後使硫粒子迅速長大；NaCl 則於 9 分鐘後硫粒子才逐漸變大。

八、改變金屬鹽的種類及濃度，測定奈米硫晶體生成速率：T=17°C

1. 添加 NaCl<sub>(aq)</sub>

表 6-8-1 氯化鈉濃度與反應時間的關係

次數	【Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3(aq)</sub> 】	【HCl <sub>(aq)</sub> 】	【NaCl <sub>(aq)</sub> 】	反應時間(秒)	時間倒數(1/秒)
1	0.05M	0.1M	不添加	3'11"38	5.02×10 <sup>-3</sup>
2	0.05M	0.1M	0.5M	3'55"31	4.25×10 <sup>-3</sup>
3	0.05M	0.1M	0.4M	3'44"50	4.45×10 <sup>-3</sup>
4	0.05M	0.1M	0.3M	3'35"80	4.63×10 <sup>-3</sup>
5	0.05M	0.1M	0.2M	3'32"25	4.71×10 <sup>-3</sup>
6	0.05M	0.1M	0.1M	3'21"33	4.97×10 <sup>-3</sup>
7	0.05M	0.1M	0.05M	3'24"63	4.89×10 <sup>-3</sup>

圖 6-8-1 添加氯化鈉濃度與反應時間的關係

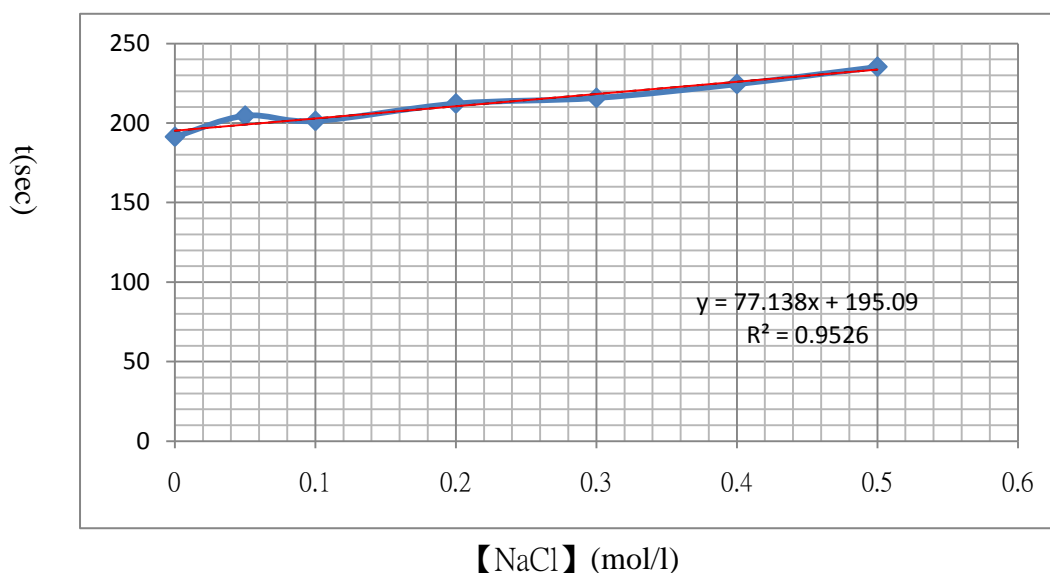
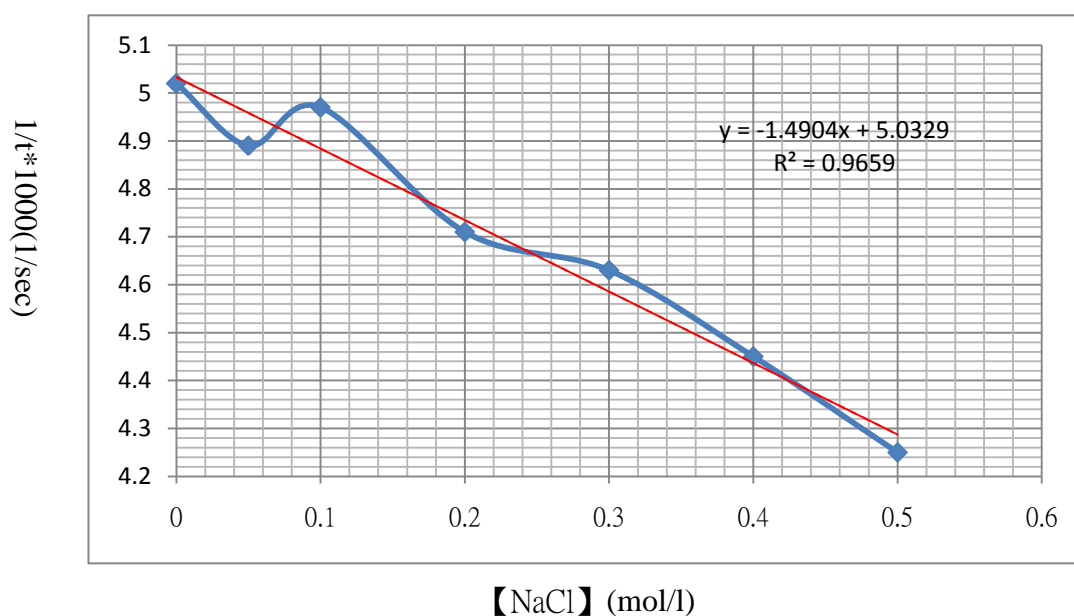


圖 6-8-2 添加氯化鈉濃度與反應時間倒數的關係



## 2. 添加 $\text{KNO}_3(\text{aq})$

表 6-8-2 硝酸鉀濃度與反應時間的關係

次數	$[\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3(\text{aq})]$	$[\text{HCl}(\text{aq})]$	$[\text{KNO}_3(\text{aq})]$	反應時間(秒)	時間倒數(1/秒)
1	0.05M	0.1M	不添加	3'11"38	$5.02 \times 10^{-3}$
2	0.05M	0.1M	0.5M	4'47"56	$3.48 \times 10^{-3}$
3	0.05M	0.1M	0.4M	2'55"56	$5.70 \times 10^{-3}$
4	0.05M	0.1M	0.3M	3'19"60	$5.01 \times 10^{-3}$
5	0.05M	0.1M	0.2M	4'21"88	$3.82 \times 10^{-3}$
6	0.05M	0.1M	0.1M	3'51"69	$4.32 \times 10^{-3}$
7	0.05M	0.1M	0.05M	4'22"06	$3.82 \times 10^{-3}$

圖 6-8-3 添加硝酸鉀濃度與反應時間的關係

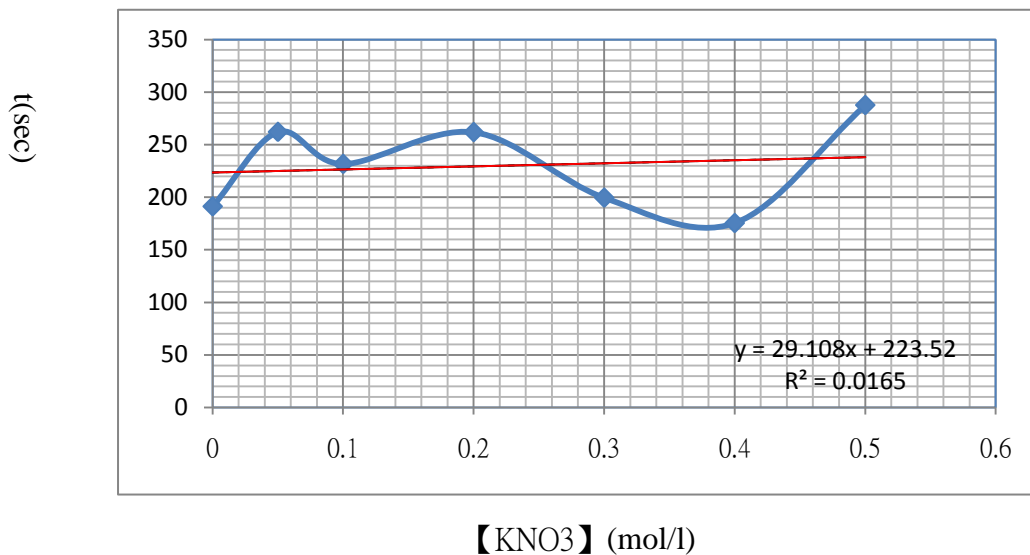
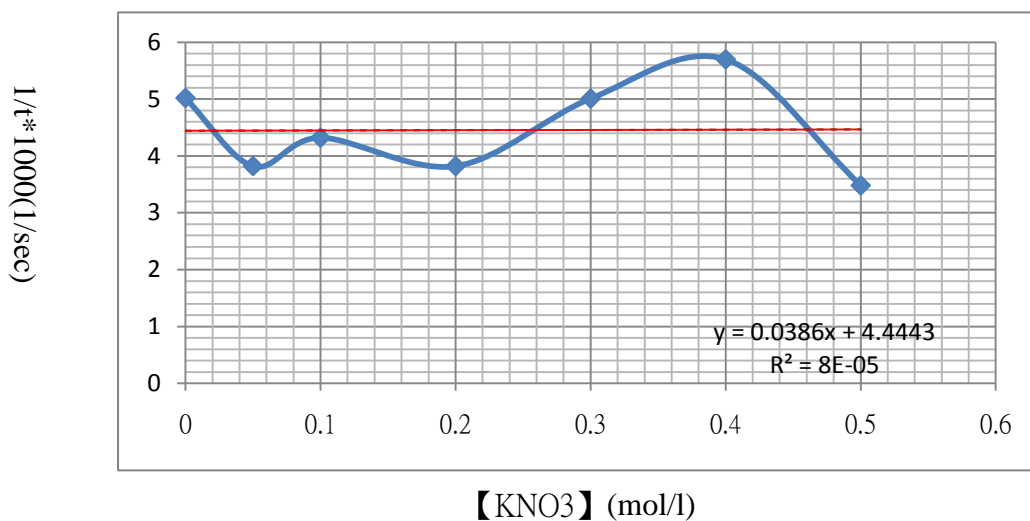


圖 6-8-4 添加硝酸鉀濃度與反應時間倒數的關係



由圖形得知，氯化鈉濃度增加時，反應速率明顯下降；添加硝酸鉀亦會減緩反應速率，但反應速率變化值與硝酸鉀的濃度關係呈現不規則。

## 柒、討論

- 一、【實驗一】自製反應終點偵測器是一種簡單又實用的微型實驗器，除了可使用在本實驗之外，只要有濁度改變的實驗，包括沉澱反應等，均可利用此實驗器測量，尤其在加裝蜂鳴器之後，更可以提醒操作者反應終點已經達到。不同的實驗可調整可變電阻的靈敏度，以達到所需要的終點值。至於本實驗裝置測量的終點值，經濁度計檢測為 650NTU，只要是在同一個測量終點值，則每次實驗的誤差可降到最低。
- 二、【實驗二】硫代硫酸鈉的濃度愈大，反應速率愈快，接近一級反應。這個結果與碰撞原理吻合，因為濃度增大，粒子間總碰撞頻率增加，故反應速率加快。
- 三、【實驗三】鹽酸的濃度愈大，反應速率也愈快，接近零級至一級反應。當然，這個結果也與碰撞原理吻合，原因同前。
- 四、【實驗四】溫度上升時，反應速率明顯變快，一般而言，每上升 10°C，反應速率約增為 2 倍。
- 五、【實驗五】添加清潔劑時，因清潔劑會吸附硫的膠態粒子形成微胞，其中陽離子型清潔劑形成正微胞，陰離子型清潔劑形成負微胞，因同電荷微胞間的排斥力使得硫晶體的堆積速率下降。所以陰離子型的清潔劑(白熊、威猛、Happy)比非離子型的清潔劑(泡舒)效果明顯，其中又以 Happy 延遲硫晶體堆積效果最明顯。反應示意圖如下：  
(此示意圖由本組成員討論後親自繪製)

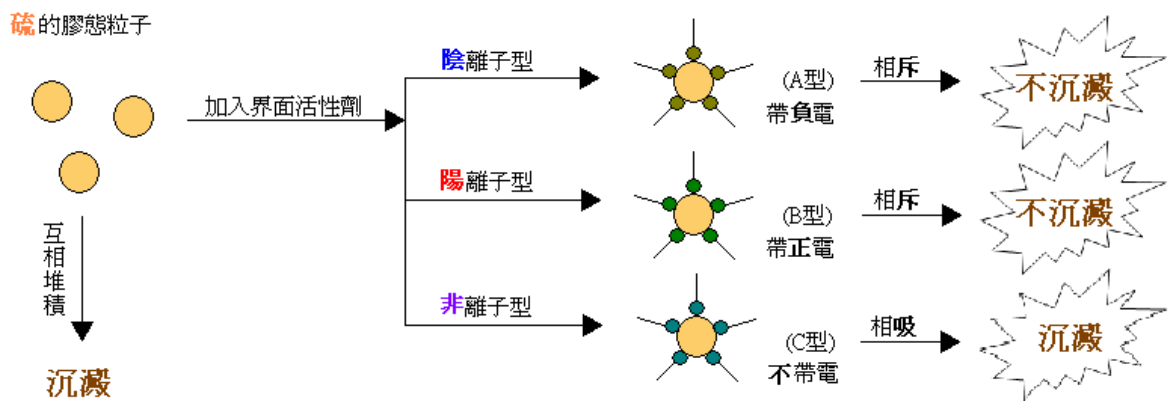


圖 7-5-1 硫粒子與界面活性劑反應示意圖

- 六、【實驗六】當清潔劑濃度改變時，延遲硫晶體的堆積的結果也不一樣，呈現不規則變化。泡舒天然洗碗精和白熊軟性清潔劑在稀釋 3 倍時，延遲效果最好。威猛先生玻璃穩潔和 Happy 天然冷洗精在不稀釋時，延遲效果最好。大多數清潔劑都會添加黏稠劑、發泡劑、螢光增白劑…等，以增加其洗淨效果，實驗結果也許和清潔劑的添加劑有關。
- 七、【實驗七】剛開始，未計算濃度的大小，加入 0.5M 的金屬鹽類時，鹼性的小蘇打及氫氧化鈉將鹽酸完全中和了，所以未產生硫晶體，並且小蘇打和鹽酸反應產生二氧化碳的氣泡。後來以稀釋為 0.05M 的金屬鹽再作一次實驗，大多金屬鹽均減緩反應速率，且以小蘇打最為明顯。此乃小蘇打為鹼性鹽類所致，根據勒沙特列原理，加入鹼性物質時，會與鹽酸產生酸鹼中和反應，故鹽酸濃度降低，反應速率下降。



八、【實驗八】氯化鈉濃度增加時，反應速率明顯下降；添加硝酸鉀亦會減緩反應速率，但反應速率變化值與硝酸鉀的濃度關係呈現不規則。金屬鹽類會干擾硫晶體的堆積，且氯化鈉又是硫代硫酸鈉和鹽酸反應的產物，當氯化鈉生成時，會抑制反應向右進行，故反應速率變慢。

## 捌、結論

- 一、微型實驗器增加實驗的靈敏度與實驗樂趣，可廣泛應用於教學活動中。
- 二、本研究改變反應物的濃度及反應溫度，當濃度加大或溫度升高時，均能加快反應速率，驗證課堂所學到的碰撞學說。
- 三、添加清潔劑於反應溶液中，形成微胞現象，有效抑制硫晶體堆積，延遲奈米硫停留時間。
- 四、添加金屬鹽類，因酸鹼值改變及反應產物生成，均能抑制硫晶體堆積。

## 玖、未來展望

本研究運用科學統合設計簡易型實驗裝置，可增加實驗的靈敏度與實驗的樂趣，並廣泛應用於教學活動中。本實驗裝置不同於市售濁度計，無須校正及繁瑣的歸零檢測步驟；亦不同於以往別的作品所設計的微電腦控制裝置，無須遮光亦能測量；更重要的是，成本低、效能高，名符其實物美價廉的實驗器。

本研究探討清潔劑及金屬鹽對硫晶體堆積速率的影響，可做為未來操控奈米粒子存在時間的重要依據。

本實驗裝置尚可延伸應用於其它沉澱反應、比色反應、錯合反應等，對於視障者，可望有明顯提示作用。凡影響光敏電阻之反應，皆可做為未來研究之方向。

改良式實驗裝置，尚可連接數個 LED 燈，提示操作者不同階段之反應終點，本項實驗亦可做為未來研究之方向。

## 壹拾、參考資料

- 一、尤丁玫等(2009)。國民中學自然與生活科技第四冊。台北縣：康軒文教。
- 二、張哲政(2007年11月30日)。高級中學化學(下)。第6章化學反應速率(1-37頁)。台北縣：龍騰文化。
- 三、中華民國第46屆中小學科學展覽會高中組化學科佳作。自製濃度觀測工具及其在高中化學實驗的應用。臺北市立大直高級中學。沈冠宇等。

- 四、臺灣2002年國際科學展覽會化學科第一名。界面活性劑對硫奈米微粒形成機制的影響。臺北市立第一女子高級中學。李祐慈。
- 五、臺灣2005年國際科學展覽會化學科大會獎佳作。奈米微粒現形記~化學反應速率的探索。台中縣立豐東國民中學。何蕙如。

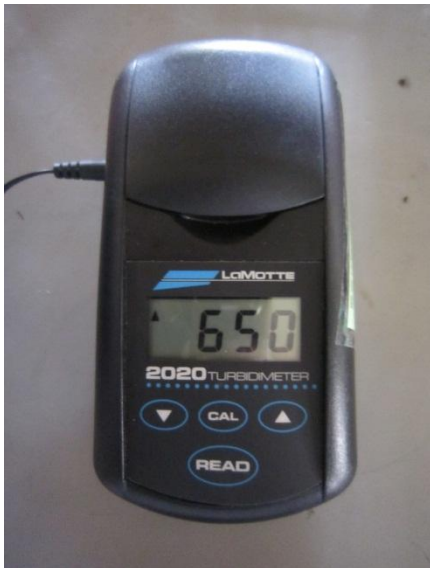
# 壹拾壹、實驗照片



▲ 實驗藥品及裝置



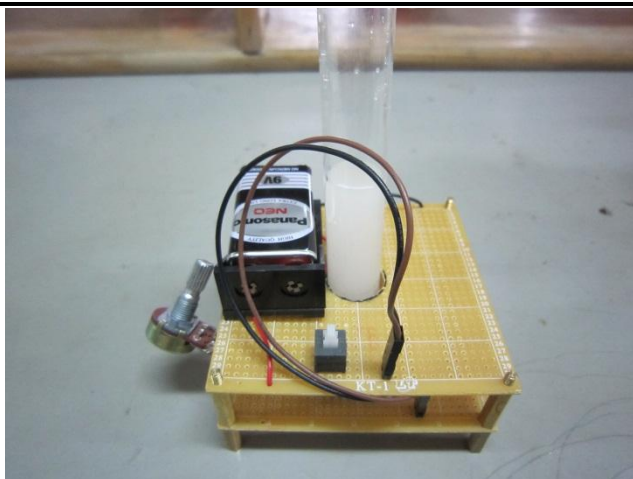
▲ 濁度計



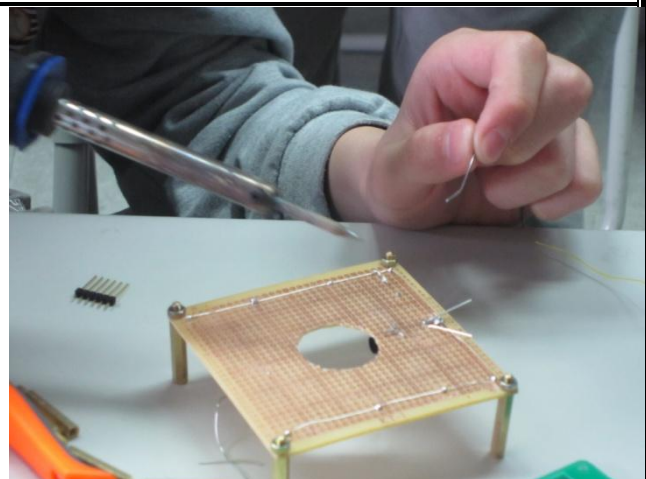
▲ 測量濁度值650NTU



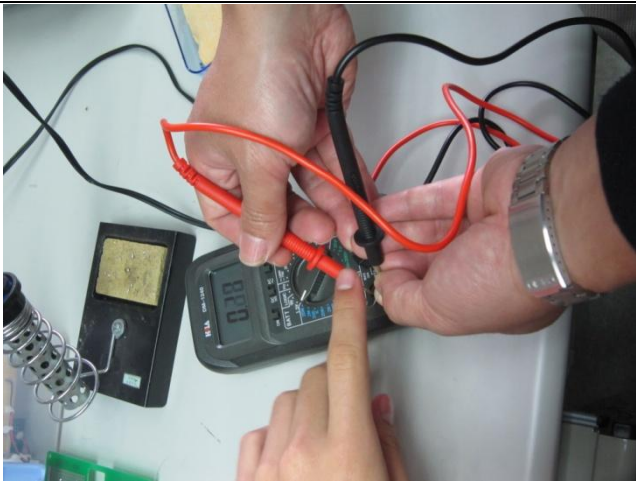
▲ 測量電阻值2.4KΩ



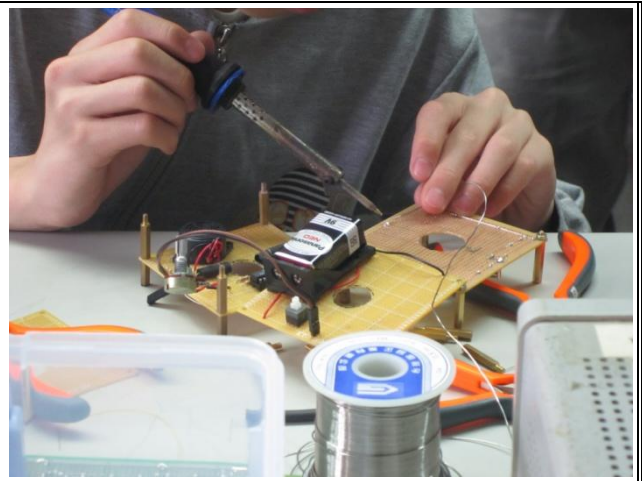
▲ 自製光敏電阻偵測器



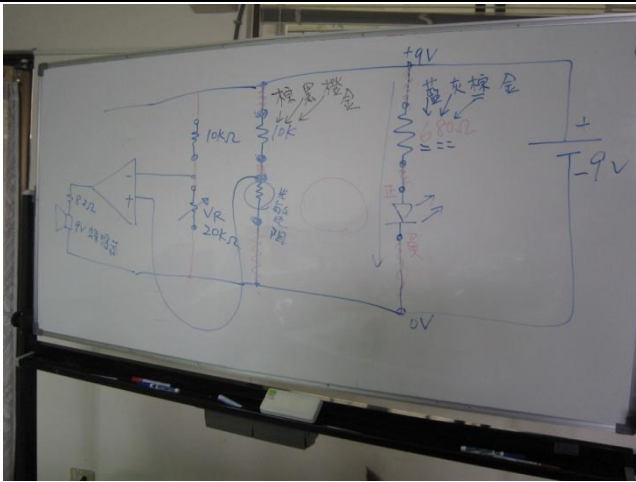
▲ 製作過程(一)~用烙鐵焊錫固定電路



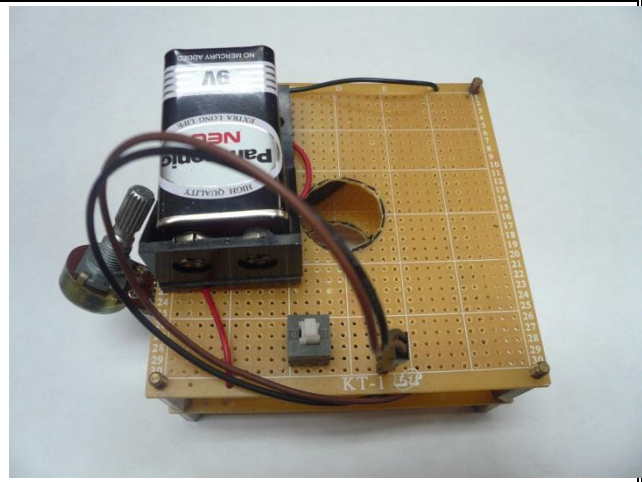
▲製作過程(二)~用三用電表測電壓



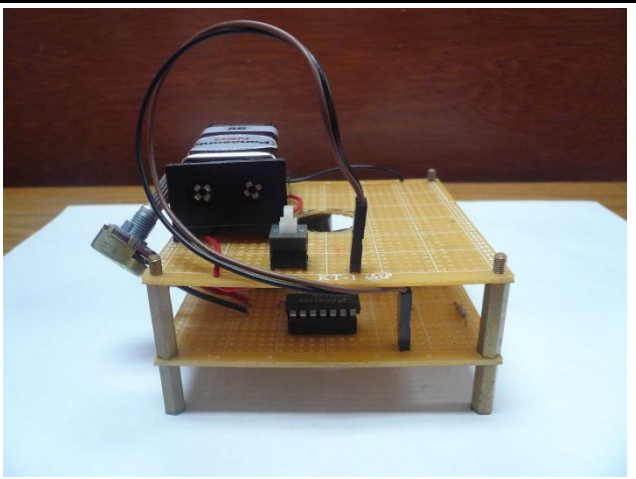
▲製作過程(三)~快要完成囉！



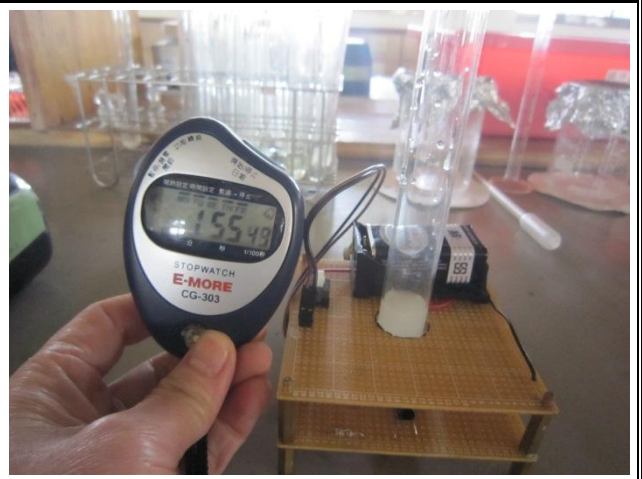
▲製作過程(四)~這是我們的電路圖草稿



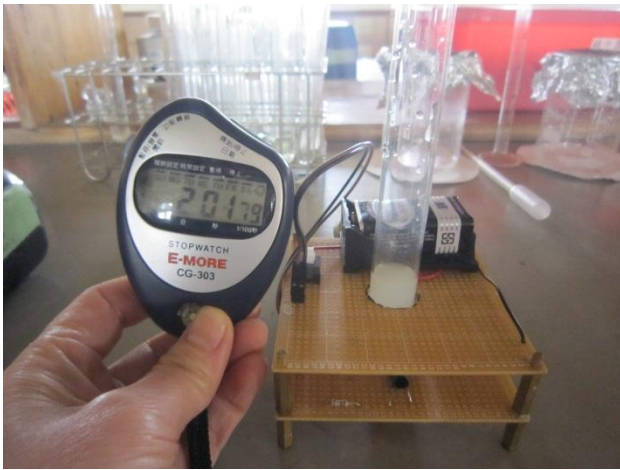
▲裝置俯視圖



▲裝置側面圖



▲測量過程(一)



▲測量過程(二)



▲測量過程(三)



▲反應總產物



▲蒸餾水未呈現廷得耳效應



▲奈米硫生成時的廷得耳效應



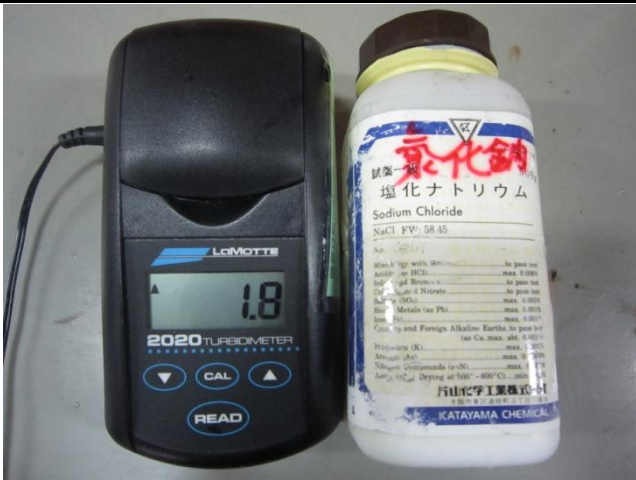
▲硫晶體堆積使得廷得耳效應消失



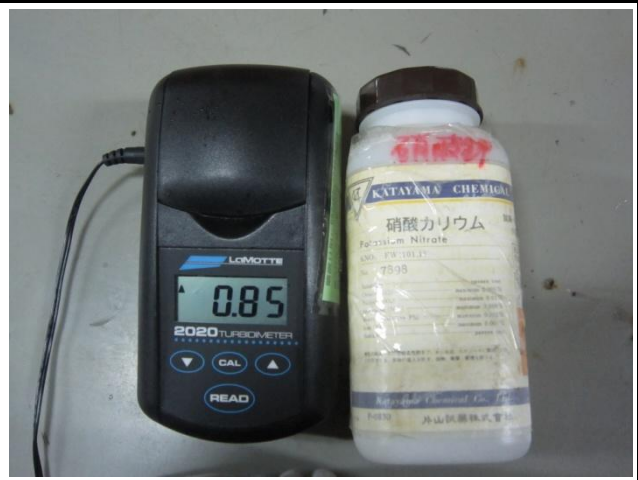
▲市售清潔劑取樣四種



▲0.05M碳酸氫鈉水溶液的濁度值



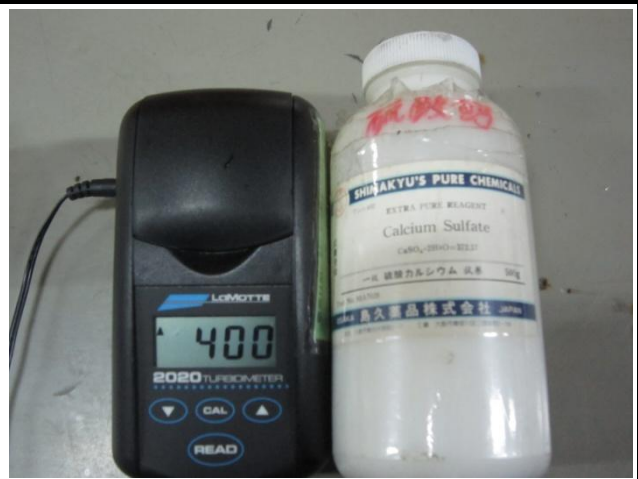
▲0.05M氯化鈉水溶液的濁度值



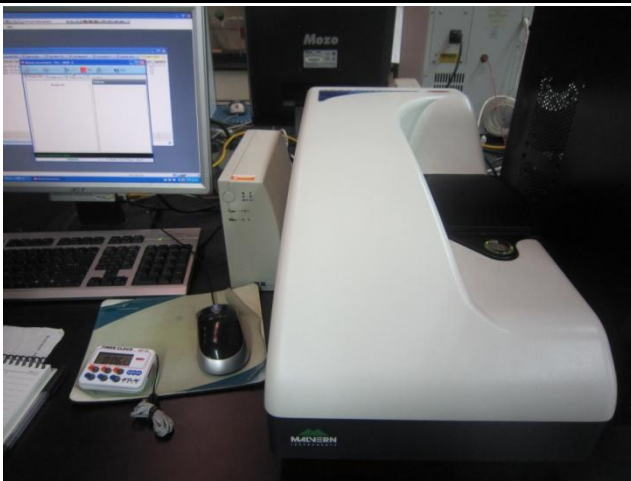
▲0.05M硝酸鉀水溶液的濁度值



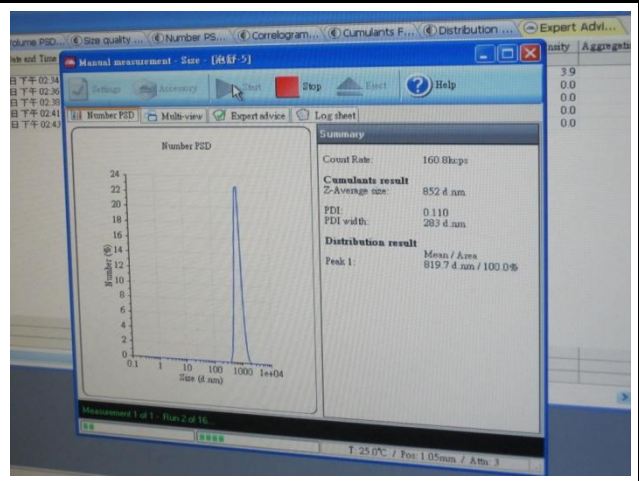
▲0.05M氫氧化鈉水溶液的濁度值



▲0.05M硫酸鈣水溶液的濁度值



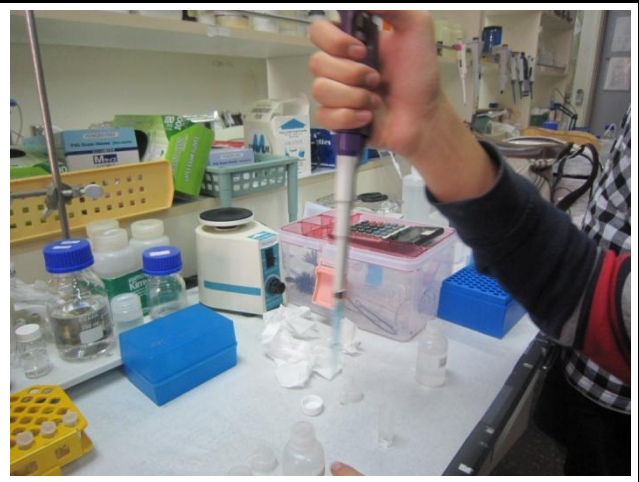
▲動態光散射儀(DLS)



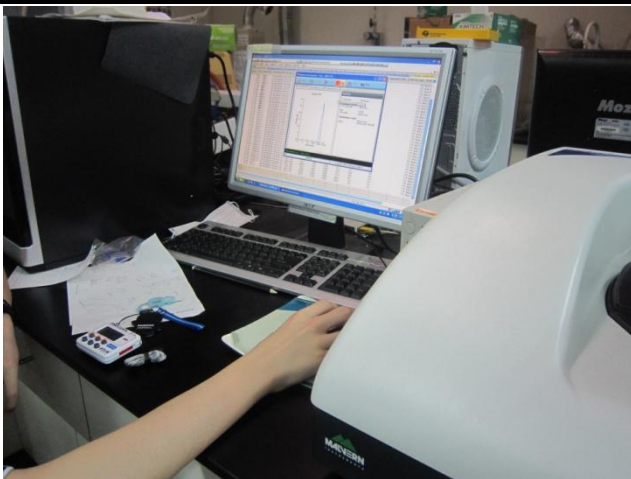
▲DLS測量數據



▲DLS測量過程(一)



▲DLS測量過程(二)



▲DLS測量過程(三)



▲DLS實驗藥品

感謝：國立 大學 與 系 教授實驗室 提供DLS測量硫粒徑大小

## 【評語】 030206

本實驗利用自製的吸光儀量測硫結晶的速率，偵測器的製作有創意，唯所量測的速率是硫代硫酸鈉還原成硫與硫相互結合長成晶的速率，兩者速率的和，並非只是還原速率而已。