

2018 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 160030

參展科別 物理與天文學

作品名稱 奈米氣泡水溶液導電度的測量與應用

得獎獎項 大會獎：一等獎
美國 ISEF 正選代表

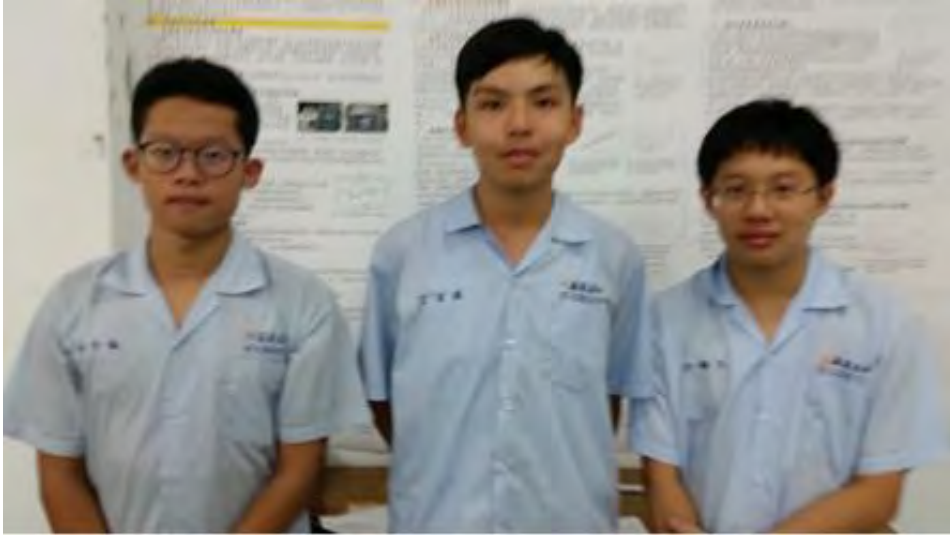
就讀學校 國立嘉義高級中學

指導教師 李文堂、侯富議

作者姓名 楊承叡、王昱淇、許瀚元

關鍵詞 奈米氣泡、導電度、黏滯係數

作者簡介



我們是楊承睿、王昱淇、和許瀚元，就讀嘉義高中科學班。就讀科學班後，有幸在李文堂老師和侯富議老師的指導下，對物理有更深入的了解，並對物理研究產生更多熱忱。

謝謝國立中正大學提供雷射奈米粒徑界面電位儀讓我們做實驗。在實驗的過程中，我們得針對實驗做出不少修正，也得到許多來自老師和教授的指點，在這些日子裡我們成長了很多。

摘要

奈米氣泡的大表面積比，表面帶負電，可以在水中停滯很長的時間等特性使得奈米氣泡水溶液異於一般氣泡水溶液。測量奈米氣泡水溶液的導電度，可得知水溶液的電荷密度，超聲處理時間可改變奈米氣泡水溶液的電荷密度，進而改變奈米氣泡水溶液的折射率、表面張力、以及黏滯係數。

利用兩個不同功率的超音波震盪儀(100W, 43KHz；200W, 40KHz)超聲處理氮、氧、和二氧化碳等三種氣體，震盪時間 5 分至 30 分，可以得到不同導電度的奈米氣泡水溶液。用自製的導電度測量器測量奈米氣泡水溶液的導電度；測量氯化鈉水溶液的導電度，用來和奈米氣泡水溶液的導電度做對照比較。

實驗探討超聲處理時間、水溶液的溫度、外加磁場的大小對導電度的影響；以及奈米氣泡水溶液的導電度對奈米氣泡水溶液的折射率、表面張力、以及黏滯係數的影響。

Abstract

Nanobubbles (NBs) present characteristics that make them unique compared to ordinary bubbles because they have charged surfaces, large surface area per volume, and longer suspension time in liquids. By measuring the electric conductivity (EC) of NBs in aqueous solution, the value of the charge density in aqueous solution can be calculated. The value of the charged bubble is critical in explaining the physical properties of the aqueous solution in terms of viscosity, surface tension, and index of refraction.

Two different ultrasonic sonicators were used with different powers (100W, 43KHz; 200W, 40KHz) and gases (nitrogen, oxygen, and carbon dioxide). Each gas were tested in different sonicate time durations to get different electric conductivity. A self-made EC meter is used to measure the EC of the NB aqueous solution. The pH value was also measured and results found that the pH value fluctuates with EC.

Previous studies have used expensive instruments to measure the charge density of NB aqueous solution. However, our experiment uses NaCl aqueous solution to measure the charge density by calculating the EC first. The charge density of NB aqueous solution can then be calculated without such an instrument. This technique has been found to be effective and inexpensive. The results of our experiment have also found that the EC of NaCl aqueous solution proportionally changes with the concentration of the solution.

A second experiment has been done to measure EC effectively and inexpensively as well. By using the same apparatus from the first experiment, and adding two copper plates as electrodes and a strong magnet (5000 gauss), the charge density of NB aqueous solution can be calculated. The charge density can be straightforwardly calculated by using the Hall Effect.

Results from our experiments have found that the temperature of the aqueous solution also affects EC. The EC of normal aqueous solution increases by 1.8% if the temperature increases by 1°C. However, the EC of NB aqueous solution extraordinarily increases by 22.7% if temperatures increases by 1°C. Having a high EC in solution means that the solution has low resistance. NB aqueous solution can be used as a thermistor.

壹、前言

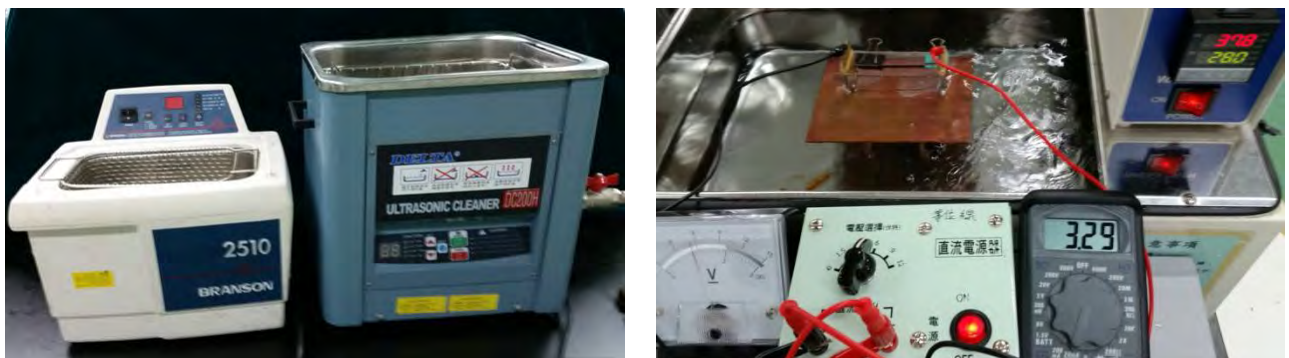
奈米氣泡的大表面積比，表面帶負電，可以在水中停滯很長的時間等特性使得奈米氣泡水溶液異於一般氣泡水溶液〔1〕；利用簡易自製器材實驗測量奈米氣泡水溶液的導電度，探討超聲處理時間、溫度、以及外加電場對導電度的影響，並探討其應用性。

貳、研究方法或過程

一、改進奈米氣泡水溶液的製程

- 1.去離子水(DI Water)盛燒杯中加熱至沸騰，置入超音波洗淨儀中去氣 10 分鐘，燒杯改置於冰水槽中，再灌入氣體 30 分鐘，使氣體的溶解度達 0°C 的飽和狀態。
- 2.將氣體水溶液分裝到塑膠試管中，蓋子拴緊，水不外漏，但氣體可外漏。
- 3.試管放入超音波洗淨儀的水槽中超聲處理(sonicate)時，要保持水溫為恆溫，以免氣體在高水溫下外洩。

二、功率不同的超音波洗淨儀製作奈米氣泡水溶液



圖一： (a)白震盪儀

(b)藍震盪儀

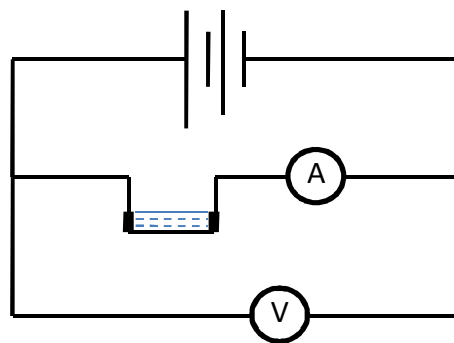
(c)測量導電度裝置放置於恆溫槽

1.兩台不同的超音波洗淨儀超聲處理氮氣、氧氣、和二氧化碳的奈米氣泡水溶液；
(1)外殼白色的超音波洗淨儀(以下簡稱白震盪儀)振動頻率 42KHz，功率 100W；
(2)外殼藍色的超音波洗淨儀(以下簡稱藍震盪儀)振動頻率 40KHz，功率 200W；
用來比較超音波振動頻率及功率對奈米氣泡水溶液的影響。

2.氮、氧、二氧化碳三種氣體分別注入水中成飽和水溶液，分裝到塑膠試管中，分別放到白震盪儀和藍盪儀內振動 5 至 25 分鐘，形成奈米氣泡水溶液，使用雷射奈米粒徑界面電位儀測量水溶液中奈米氣泡的尺寸；並用酸鹼度測量儀測量奈米氣泡水溶液的 pH 值。

三、測量氯化鈉水溶液的導電度

1. 壓克力製方型盒的兩端插入銅片當電極，串聯安培計並聯伏特計後，再接上電源供應器成為測量高電阻裝置。



圖二：測量導電度裝置示意圖

2.方型盒內置入氯化鈉水溶液，量取電流(i)和電壓(V)後，由 $R = \frac{V}{i}$ 求得電阻，導電度 $c = \frac{i}{V} \times \frac{L}{A} \dots (1)$ ，L 為兩極間的距離，A 為水溶液和電極接觸處的面積。

3.配製導電度和奈米氣泡水溶液相近的氯化鈉水溶液，測量氯化鈉水溶液的導電度，用以和奈米氣泡水溶液的導電度做比較。濃度 $C = 1.875 \times 10^{-5}M$ 、

$3.75 \times 10^{-5}M$ 、 $7.5 \times 10^{-5}M$ 、 $15 \times 10^{-5}M$ 、和 $30 \times 10^{-5}M$ 氯化鈉水溶液，

分別測量導電度(c)，作導電度(c)和濃度(C)關係圖。

四、測量奈米氣泡水溶液的導電度

2. 氮氣體注入水中成飽和水溶液，取 45ml 裝到塑膠試管中，共 13 隻試管，(1)6 隻試管放入白震盪儀內振動 5 至 30 分鐘，(2)6 隻試管放入藍震盪儀內振動 5 至 30 分鐘；將奈米氣泡水溶液置入方型盒內，通電後量取電流(i)、電壓(V)、兩電極間的距離 $L=9.30\text{cm}$ ，水溶液和電極板接觸的面積 $A=4.84\text{cm}^2$ ，代入公式(1)可算出導電度 $c = 0.0192 \times 10^{-4} 1/\Omega - m \dots (2)$ 。

3. 氧氣體注入水中成飽和水溶液，取 45ml 裝到塑膠試管中，共 13 隻試管，重作上步驟的實驗。

4. 二氧化碳注入水中成飽和水溶液，取 45ml 裝到塑膠試管中，共 13 隻試管，重作上步驟的實驗。

五、探討導電度隨通電時間的變化

1. 氮氣體注入水中成飽和水溶液，取 45ml 裝到塑膠試管中，共兩隻試管；用藍震盪儀超聲處理 20 分鐘，(1)一隻試管的奈米氣泡水溶液置入導電度測量裝置的方形盒中，維持恆溫下，電壓 3 伏特通電一小時，紀錄電流隨時間的變化(算出導電度隨時間的變化)。(2)另一隻試管的奈米氣泡水溶液置入導電度測量裝置的方形盒中，維持恆溫下，電壓 12 伏特通電一小時，紀錄電流隨時間的變化(算出導電度隨時間的變化)。

2. 改取氧氣及二氧化碳水溶液重作上步驟實驗。

六、探討導電度隨置放時間的變化

1. 氮氣體注入水中成飽和水溶液，取 45ml 裝到塑膠試管中，共 6 隻試管；用藍震盪儀超聲處理 20 分鐘，第一隻試管的奈米氣泡水溶液置入導電度測量裝置測量導電度，過一天後測量第二隻試管奈米氣泡水溶液的導電度，連續測量 6 天，探討奈米氣泡水溶液置放時間(T)對導電度(c)的影響。
2. 改取氧氣及二氧化碳水溶液重作上步驟實驗。

七、探討導電度隨溫度的變化

1. 氮氣體注入水中成飽和水溶液，取 45ml 裝到塑膠試管中，用藍震盪儀超聲處理 20 分鐘(震盪儀的水溫控制在 27°C)；取出試管放到冷凍庫內降溫至 0°C(不要結冰)，將試管中的水溶液置入方形盒，放在恆溫槽中測量導電度，恆溫槽的溫度漸漸升高，測量不同溫度的導電度，探討導電度隨溫度的變化。
2. 改取氧氣及二氧化碳水溶液重作上步驟實驗。

八、探討奈米氣泡水溶液黏滯係數隨溫度的變化

1. 氮氣體注入水中成飽和水溶液，取 55ml 裝到塑膠試管中，用藍



圖三：黏滯係數測量裝置

- 震盪儀超聲處理 20 分鐘(震盪儀的水溫控制在 27°C)；取出試管放到冷凍庫內降溫至 0°C(不要結冰)；將試管中的水溶液 10ml(V_0)倒入黏滯係數測量裝置的注射筒內；液滴滴下後，紀錄水溶液體積(V)隨時間(T)的變化。
2. 改置放氧氣及二氧化碳水溶液，重作上實驗。

$$3. V = V_0 e^{-\lambda T} \dots (3) \quad \eta = \frac{\rho g r^4}{8LR^2\lambda} \dots (4), \quad \eta: \text{黏滯係數(cp)}, L(\text{cm})$$

R(cm)為針頭的長度及內半徑，R:注射筒的內半徑。作 $\ln \frac{V_0}{V}$ 對T 關係圖，求出斜率，代入公式(4)，可求得黏滯係數。

九、磁場對導電度的影響

(一)利用霍爾效應測量奈米氣泡水溶液的帶電量

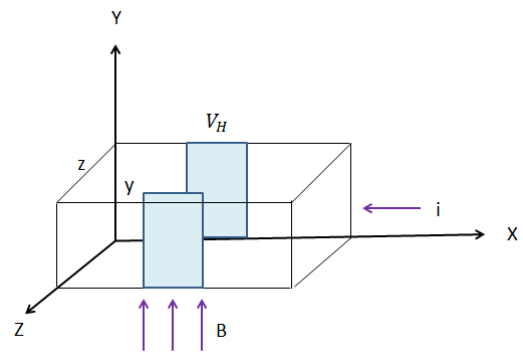
1. 導電度測量盒倒入 45ml 濃度 $5 \times 10^{-4} M$

的氯化鈉水溶液，盒子下方放置 5000 高斯

的鈷鐵硼磁鐵，通電後，量出電流*i*，及

V_H ，改變電源的電壓，量得電流及對應的

電壓，作 V_H -*i* 圖。



圖四: 電流通過磁場產生霍爾電壓

2.改用藍震盪儀超聲處理 5 分鐘至 25 分鐘的氮氣、氧氣、及二氧化碳奈米氣泡水溶液重作上步驟的實驗。

3.未加磁場的電流，加上磁場後電流，作氯化鈉及三種奈米氣泡水溶液的電流變化圖。

十、探討奈米氣泡水溶液的導電度對奈米氣泡水溶液的折射率的影響

1. 氮氣體注入水中成飽和水溶液，取 10ml 裝到塑膠試管中，共 13 隻試管，第 1 隻試管直接用折射率測量儀測量水溶液的折射率。其他 12 隻試管成 2 組，每組 6 隻，分別由白震盪儀、藍震盪振動 5 至 30 分鐘形成奈米氣泡水溶液；將奈米氣泡水溶液置入折射率測量儀測量水溶液的折射率。

2. 改取氧氣及二氧化碳水溶液重作上步驟實驗。

十一、探討奈米氣泡水溶液的導電度對奈米氣泡水溶液的表面張力的影響

1. 氮氣體注入水中成飽和水溶液，取 45ml 裝到塑膠試管中，共 7 隻試管，第 1 隻試管的水溶液直接用表面張力測量裝置(最大泡壓法)測量水溶液的表面張力。其他 6 隻試管分別由藍震盪儀振動 5 至 30 分鐘形成奈米氣泡水溶液；將奈米氣泡水溶液置入表面張力測量裝置測量儀測量水溶液的表面張力。



圖五：表面張力測量裝置

2. 改取氧氣及二氧化碳水溶液重作上步驟實驗。

十二、探討奈米氣泡水溶液的導電度對奈米氣泡水溶液的黏滯係數的影響

1. 氮氣體注入水中成飽和水溶液，取 45ml 裝到塑膠試管中，共 7 隻試管，第 1 隻試管的水溶液直接用黏滯係數測量裝置(利用 Poiseuille 定律)測量水溶液的黏滯係數。其他 6 隻試管分別由藍震盪儀振動 5 至 30 分鐘形成奈米氣泡水溶液；將奈米氣泡水溶液置入黏滯係數測量裝置測量儀測量水溶液的黏滯係數。

2. 改取氧氣及二氧化碳水溶液重作上步驟實驗。

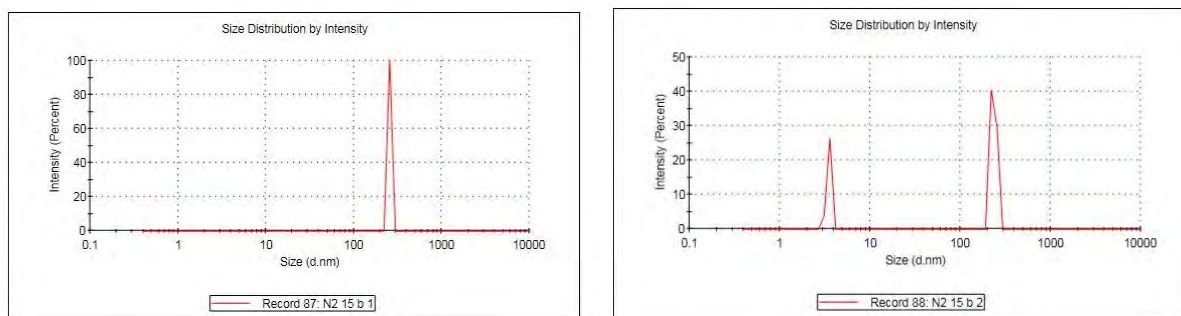
叁、研究結果與討論

一、改進奈米氣泡水溶液的製程

去年的作品未經過這樣的製程，得到的氮氣奈米氣泡水溶液，置放 3 天後，

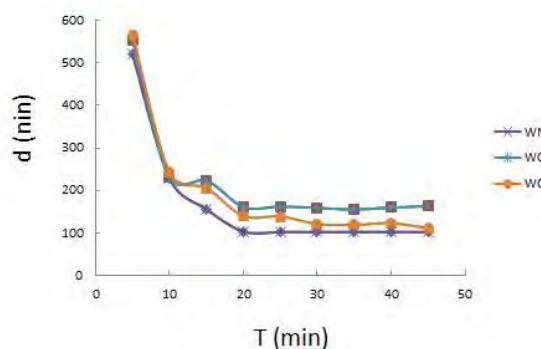
導電度約降為六分之一；經過這樣的製程，得到的氮氣奈米氣泡水溶液，置放 2 週都還沒有顯著的變化。而且不再像去年:同時超聲處理兩試管的奈米氣泡水溶液，測得的表面張力，黏滯係數不同。

二、功率不同的超音波洗淨儀製作奈米氣泡水溶液



圖六: 雷射奈米粒徑界面電位儀測量同一個樣本兩次，得到的結果不同。

1. 雷射奈米粒徑界面電位儀 (Malvern, Nano-ZS90)測量奈米氣泡尺寸，每一件樣品測量 3 次，得到的結果差



異甚大，還有測不到的情形。圖六中同一個樣本(N₂ 15 b1 和 N₂ 15 b1)，前者測得 intensity 100%，

尺寸 d=255nm，後者測得 intensity 69.7%，

尺寸 d=234.8nm，intensity 30.3%，尺寸 d=3.551nm。

圖七: 奈米氣泡尺寸(d)隨超聲處理時間(T)的變化，數列依次為氮氣、氧氣和二氧化碳。

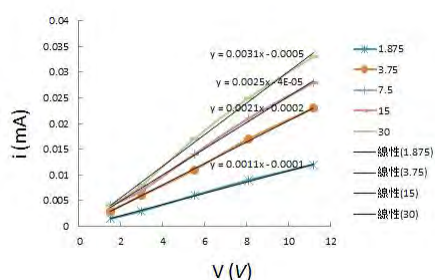
2. 圖七是在大學奈米檢測中心，用白震盪儀超聲處理氧氣、氮氣和二氧化碳，

用奈米粒徑界面電位儀測量奈米氣泡的尺寸，每件樣品量(round)三次，取最小尺寸(但超過 100nm)，得到超聲處理 20 分鐘最小尺寸的氮氣 102nm，氧氣 106nm，二氧化碳 110nm；超聲處理超過 20 分鐘的奈米氣泡尺寸不再減少。

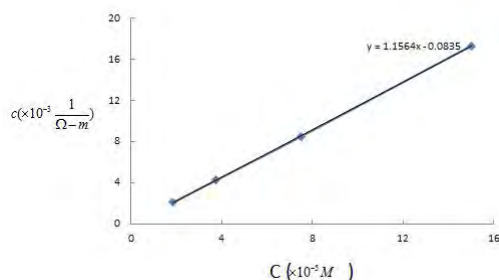
3.超聲波震盪儀的振盪頻率 $\geq 20\text{KHz}$ ，塑膠試管裝飽和氣體水溶液，在超聲波震盪儀的水槽中超聲處理，當聲壓到達一定程度時，氣泡迅速膨脹然後閉合，產生衝擊波，使水的周圍產生壓力及局溫，這超聲波空化(cavitation)產生的巨大壓力，一方面使微米尺寸的氣泡破裂形成奈米氣泡，還會“趕走”尺寸較大的氣泡，並破壞氣體的化學鍵〔2〕，465kHz 的超聲波會使氮氣化學變化成硝酸或亞硝酸，還發出螢光(phosphorescence)。

4.本實驗用 42KHz 的超聲波製成的(1)氮氣的奈米氣泡水溶液 pH 值 6.1，應已伴隨產生微量的硝酸或亞硝酸，(2)氧氣的奈米氣泡水溶液 pH 值 7.3，伴隨產生氫氧根，(2)二氧化碳的氣泡水溶液 pH 值 4.1，因為二氧化碳溶入水中產生碳酸。

四、測量氯化鈉水溶液的導電度



圖八: 氯化鈉水溶液通電時的電流(i)對所加電壓(V)的關係。



圖九: 氯化鈉水溶液的導電度(c)對濃度的關係。

1.圖八為濃度 $C = 1.875 \times 10^{-5}M$ 、 $3.75 \times 10^{-5}M$ 、 $7.5 \times 10^{-5}M$ 、 $15 \times 10^{-5}M$ 、

和 $30 \times 10^{-5} M$ 氯化鈉水溶液，通電時的電流對電壓關係圖，其斜率依次為
 $(0.0011、0.0021、0.0043、0.0089、和 0.0176) \times 10^{-3}$ ，導電度測量盒的 $L=9.30\text{cm}$ ，
 $A=4.84\text{cm}^2$ ，代入公式 $c = 0.0192 \times 10^{-4} 1/\Omega - m \dots (2)$

求得導電度依次為 $(2.13, 4.07, 8.50, 17.1, 34.0) \times 10^{-3} 1/\Omega\cdot m$ 。

3. 圖九為濃度(C)做橫軸，導電度(c)做縱軸，得到的關係式:

導電度 $c = 115.6C + 8.35 \dots (3)$ ，測得奈米氣泡水溶液的導電度 c ，代入公式(3)

可求得 C(氯化鈉水溶液濃度)，因氯化鈉水溶液每公升含有 C 莫耳的正基本電荷，
 C 莫耳的負基本電荷；換言之，奈米氣泡水溶液每公升含有 C 莫耳的正基本電
 荷，C 莫耳的負基本電荷的電量。

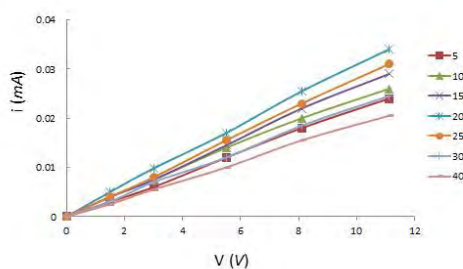
四、測量奈米氣泡水溶液的導電度

1. 表一:氮氣奈米氣泡水溶液經白震盪儀超聲處理時間 T，通電壓 V，電流 i

T(min)	V(volt)	1.5	3	5.5	8.1	11.1
0	i(mA)	0.003	0.006	0.011	0.017	0.023
5	i(mA)	0.003	0.006	0.012	0.018	0.024
10	i(mA)	0.004	0.008	0.0165	0.025	0.033
15	i(mA)	0.004	0.008	0.0165	0.022	0.029
20	i(mA)	0.004	0.009	0.017	0.0255	0.034
25	i(mA)	0.004	0.009	0.0155	0.023	0.031
30	i(mA)	0.003	0.008	0.012	0.0185	0.0245

2.表一為氮氣奈米氣泡水溶液在白震盪儀

中超聲處理時間 T(min)，通電壓 V(volt)，電
 流 i(mA)，的實驗原始數據。



圖十:氮奈米氣泡通電時的電流對
 電壓關係圖，0，5，10...為超聲處
 理時間(白震盪儀)

3.圖十為經白震盪儀超聲處理的氮奈米氣

泡水溶液，通電時的電流對電壓關係圖。

超聲處理 20 分鐘的奈米氣泡水溶液

$c = 5.99 \times 10^{-4} \frac{1}{\Omega - m}$ 最大。用食鹽水溶液做比

對，相當於濃度 $5.18 \times 10^{-6} \text{ mol} / \ell$ 的導電度，

換言之，相當於電荷密度 $5.18 \times 10^{-6} \text{ mol} / \ell$ 的

鈉離子及氯離子的導電度。

4.圖十一為氮奈米氣泡通電時的電流對超聲處理時間關係圖，氮氣水溶液在白震盪儀中超聲處理時間愈久，奈米尺寸愈小，溶液帶電量愈多，處理 20 分鐘的奈米尺寸最小，溶液的帶電量最多，測

得的導電度最大；處理時間超過 20 分鐘後奈米尺寸沒有變化，水溶液的帶電量應該不

變，但由於超音波震盪儀的 degas 功能，把尺寸大的氣泡“趕走”，因此處理 25 分、

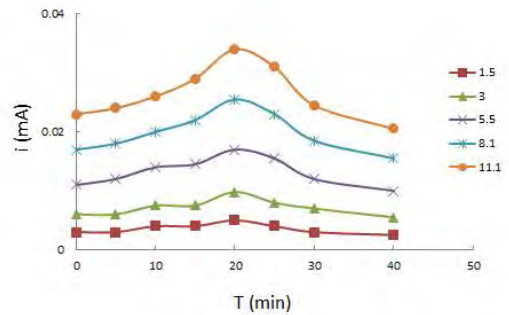
30 分鐘的奈米氣泡水溶液的帶電量漸少，測得的導電度漸小。

5. 圖十二為經藍震盪儀超聲處理的氮奈

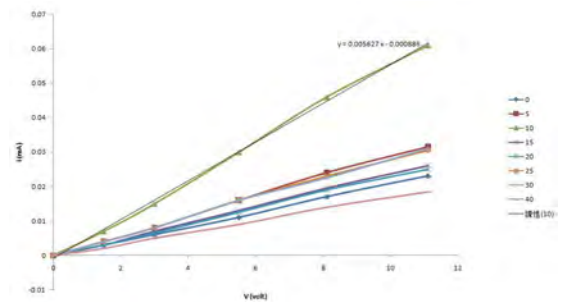
米氣泡水溶液，通電時的電流對電壓關

係圖。超聲處理 10 分鐘的奈米氣泡

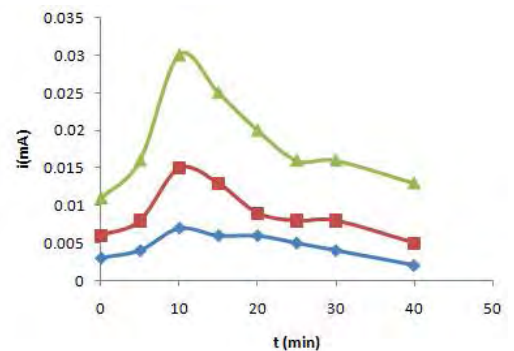
水溶液 $c = 10.8 \times 10^{-4} \frac{1}{\Omega - m}$ 最大。



圖十一:氮奈米氣泡通電時的電流對超聲處理時間關係圖，1.5V，3V，5.5V 分別為所加電壓(白震盪儀)



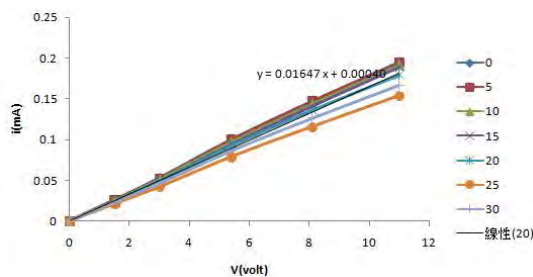
圖十二:氮奈米氣泡通電時的電流對電壓關係圖，0，5，10...為超聲處理時間(藍震盪儀)



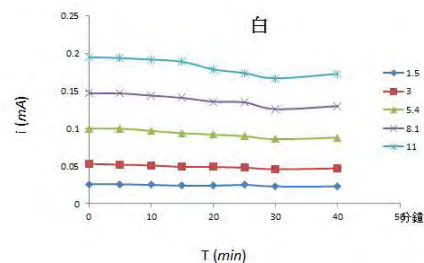
6.圖十三為氮奈米氣泡通電時的電流對超聲處理時間關係圖，氮奈米氣泡水溶液的導電度隨著超聲處理的時間的增加而增加，超聲處理 10 分鐘

圖十三: 氮奈米氣泡通電時的電流對超聲處理時間關係圖，1.5V，3V，5.5V 分別為所加電壓（藍震盪儀）

後，水溶液的帶電量減少。氮氣水溶液在藍震盪儀中超聲處理時，奈米尺寸漸小，溶液帶電量漸多，10 分鐘後奈米尺寸沒有變化，由於超音波震盪儀的 degass 功能，把尺寸大的氣泡“趕走”，因此 10 分鐘後，水溶液的帶電量減少。



圖十四: 二氧化碳奈米氣泡通電時的電流對電壓關係圖，0，5，10... 為超聲處理時間(白震盪儀)



圖十五: 二氧化碳奈米氣泡通電時的電流對超聲處理時間關係圖，1.5V，3V，5.5V 分別為所加電壓(白震盪儀)

7. 圖十四為經白震盪儀超聲處理的二氧化碳奈米氣泡水溶液，通電時的電流對電壓關係圖。未超聲處理(0)分鐘的奈米氣泡水溶液 $c = 31.6 \times 10^{-4} \frac{1}{\Omega - m}$ 最大；為經

白震盪儀超聲處理的氮奈米氣泡水溶導電度的 5.27 倍。

表二: 二氧化碳水溶液超聲處理時間(t)，粒徑尺寸(d)，界面電位(V)，及溶液的 pH 值

t(min)	0	5	10	15	20	25	30
d(nm)	1728	466	252	180	110	110	110
V(mV)	-24.7	-25.6	-26.4	-26.4	-27.0	-27.1	-27.0
pH	4.1	4.2	4.2	4.3	4.2	4.2	4.3

8.圖十五所示，二氧化碳奈米氣泡水溶液超聲處理的時間並不影響溶液的導電度。

9.由表二得知:二氧化碳奈米氣泡水溶液的 pH 值 4.2，溶液中氫離子的濃度

$6.3 \times 10^{-5} \text{ mol/l}$ ，為經白震盪儀超聲處理 20 分鐘的氮氣奈米氣泡水溶液

$5.18 \times 10^{-6} \text{ mol/l}$ 的 12.2 倍，所以二氧化碳奈米氣泡因超聲處理產生的電量變化對

二氧化碳奈米氣泡水溶液的導電度影響不大，測到的導電度為碳酸的導電度。

10.表三顯示:

表三:奈米氣泡水溶最大的導電度(c)，和超聲處理時間(T)

(1)震盪儀的功率愈大

超聲處理過的水溶液

導電度愈大;藍震盪儀

	白震盪儀		藍震盪儀	
	c ($\times 10^{-4} 1/\Omega - m$)	T (min)	c ($\times 10^{-4} 1/\Omega - m$)	T (min)
N ₂	6.00	20	10.8	10
O ₂	7.34	20	13.2	10
CO ₂	34.3		33.9	

的功率為白震盪儀的 2 倍，藍震盪儀超聲處理過的氮氣、氧氣和二氧化碳奈米氣泡水溶液的導電度各為白震盪儀超聲處理過的氮氣、氧氣和二氧化碳奈米氣泡水溶液的導電度 1.8 倍、1.8 倍和 1.2 倍。

(2)氮氣飽和氣體水溶液的溶解度為每公斤的水溶解 0.00172 公克的氮氣亦即

$1.2 \times 10^{-4} \text{ mol/l}$ ，氧氣為 $6.1 \times 10^{-4} \text{ mol/l}$ ，氧為氮的 5 倍，但是，氧的導電度

僅為氮的 1.2 倍。氮氣經超聲處理後發生化學變化產生硝酸或亞硝酸，溶液的 pH

值為 6.1，含有 $7.9 \times 10^{-7} \text{ mol/l}$ 的氫離子。

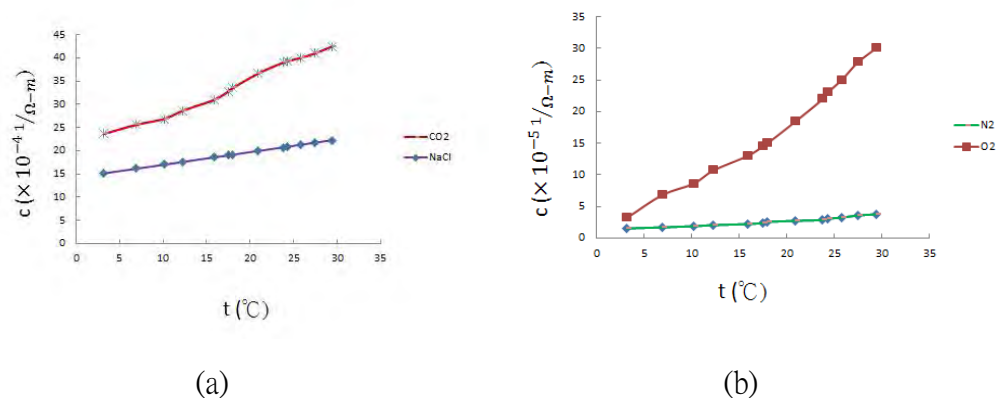
五、探討導電度隨通電時間的變化

保持恆溫下，奈米氣泡水溶液的導電度不隨通電時間的久暫變化。

六、探討導電度隨置放時間的變化

三種氣體的奈米氣泡水溶液，置放六天，測得的導電度均未改變，顯現奈米氣泡可在溶液中停滯很長時間的特性。

七、探討導電度溫度的變化



圖十六: 水溶液的導電度(c)隨水溶液溫度(t)的變化，(a)為氯化鈉水溶液及二氧化碳水溶液，(b)氧氣和氮氣奈米氣泡水溶液。

1.圖十六顯示奈米氣泡水溶液的導電度隨著溫度的變化產生大幅度的變化。

(1) 氮氣奈米氣泡水溶液由 3.2°C 上升至 29.4°C 時，導電度由 $1.54 \times 10^{-4} 1/\Omega \cdot m$ 增加到 $3.37 \times 10^{-4} 1/\Omega \cdot m$ ，溫度上升 26.6°C，導電度增大 2.2 倍；平均每上升 1°C，導電度增加 6%。

(2) 氧氣水溶液由 3.2°C 上升至 29.4°C 時，導電度由 $1.73 \times 10^{-4} 1/\Omega \cdot m$ 增加到 $6.08 \times 10^{-4} 1/\Omega \cdot m$ ，溫度上升 26.2°C，導電度增大 3.5 倍；平均每上升 1°C，導電度增加 22.7%

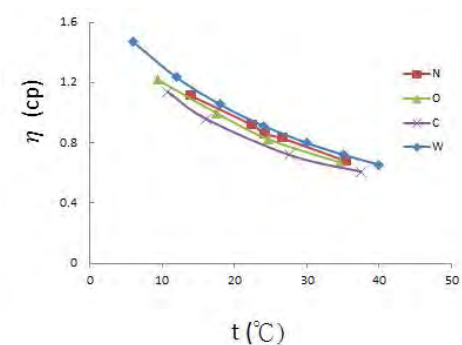
(3) 二氧化碳水溶液由 3.2°C 上升至 29.4°C 時，導電度由

$23.6 \times 10^{-4} 1/\Omega - m$ 增加到 $42.5 \times 10^{-4} 1/\Omega - m$ ，溫度上升 26.2°C ，導電度增大 1.8 倍；平均每上升 1°C ，導電度增加 3.1%。

(3) 奈米氣泡在水中布朗運動，做布朗運動的物體的均方距離 $\langle R^2 \rangle$ 經過時間 t 後， $\langle R^2 \rangle = \frac{6kTt}{\eta} \dots (5)$ ， k : 波茲曼常數， T : 絕對溫度， η : 水溶液的黏滯係數；
下一個實驗得知: 奈米氣泡水溶液隨著溫度的上升的黏滯係數大幅度的減少，因此奈米氣泡運動的方均跟速率大幅度的增大，漂移電流速率大幅度增大，導電度因此大幅度的增大。

八、探討奈米氣泡水溶液黏滯係數隨溫度的變化

1. 圖十七中，水的黏滯係數是由 Chemistry Handbook 查到的資料，溫度上升 34°C ，黏滯係數由 1.47cp 減為 0.656cp，減少 55.5%，平均每上升 1°C ，黏滯係數減少 0.024cp。



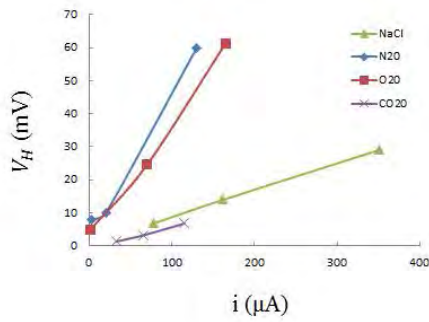
圖十七: 黏滯係數隨溫度的變化，數列 N: 氮氣，O: 氧氣，C: 二氧化碳，W: 水。

2. 氮氣奈米氣泡水溶液溫度上升 21.5°C ，黏滯係數由 1.12cp 減為 0.68cp，減少 61.8%，平均每上升 1°C ，黏滯係數減少 0.021cp。

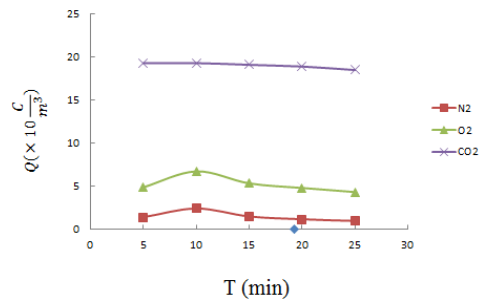
3. 氧氣奈米氣泡水溶液溫度上升 22.3°C ，黏滯係數由 1.22cp 減為 0.67cp，減少 60.7%，平均每上升 1°C ，黏滯係數減少 0.022cp。

4. 二氧化碳奈米氣泡水溶液溫度上升 26.7°C ，黏滯係數由 1.14cp 減為 0.61cp，減少 59.2%，平均每上升 1°C ，黏滯係數減少 0.020cp。

九、磁場對導電度的影響



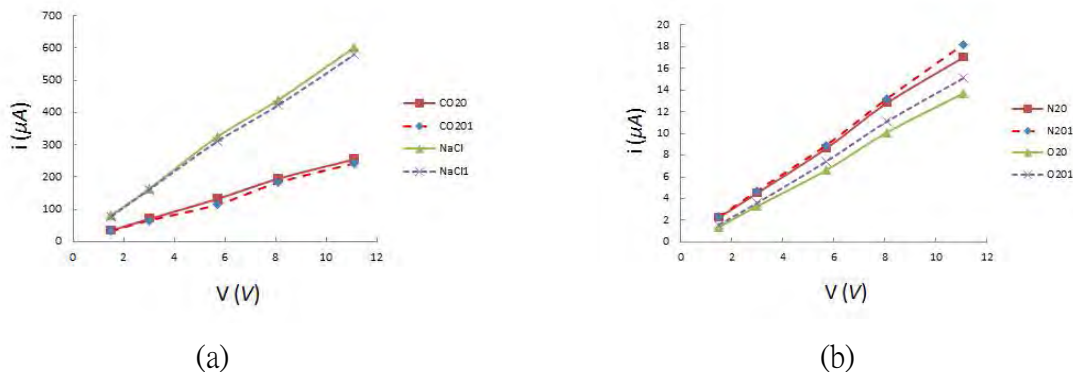
圖十八：電壓(V_H)隨電流(i)的變化。



圖十九：奈米氣泡水溶液單位體積的帶電量(Q)，隨超聲處理時間(T)的變化。

1.圖十九為經過藍震盪儀超聲處理 5 至 25 分鐘的氮氣、氧氣、和二氧化碳奈米氣泡水溶液的單位體積帶電量隨超聲處理時間的變化；氮氣和氧氣奈米氣泡水溶液經 10 分鐘的超聲處理，帶電量最大；二氧化碳奈米氣泡水溶液的 pH 值 4.2，導電度以碳酸為主，超聲處理的時間影響不大；這個現象和前面直接良導電度結果相同。

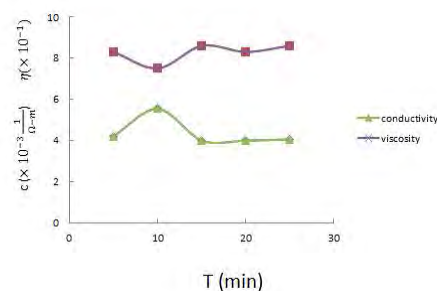
2.



圖二十：奈米氣泡水溶液加磁場之後(虛線)和加磁場之前(實線)電流的變化。

四種水溶液通電流後再加磁場電流發生不同的變化:(1)圖二十(a)氯化鈉水溶液的

導電載子為鈉離子和氯離子，加上磁場後，部分離子向導電度測量盒的側面電極(圖似的 z 軸)移動，產生霍爾電壓，所以抵達電極(圖四的 x 軸)的電流減少。



二氧化碳奈米氣泡水溶液的導電以碳酸根和氫離子為主，所以和氯化鈉水溶液有相同的結果。(2) 圖二十(b) 氮氣、氧氣奈米氣泡水溶液的部分的奈米氣泡向導電度測量盒的側面電極移動，產生霍爾電壓；但是奈米氣泡做布朗運動，外加磁場使氣泡受勞侖茲力作用，增大了電流。所以抵達電極的電流增加。

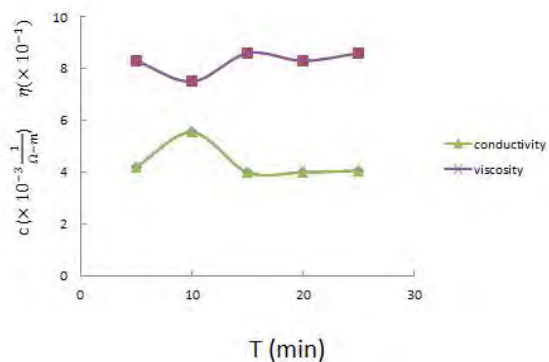
十一、探討奈米氣泡水溶液的導電度對奈米氣泡水溶液的表面張力的影響

1. 圖二十為氮奈米氣泡水溶液在 27°C 超聲處理後，測得的導電度(c)及表面張力(σ)。水溶液的導電度愈大，表面張力愈小。

2.水在 27°C 時水分子間的分子力(吸引力)形成的表面張力 $\sigma=71.52\text{dy/cm}$ ，超聲處理 5 分鐘的氮氣奈米氣泡表面張力減為 6.734dy/cm，氣泡間的排斥力使溶液的表面張力變小。

十二、探討奈米氣泡水溶液的導電度對奈米氣泡水溶液的黏滯係數的影響

1. 圖二十一為氮奈米氣泡水溶液在 27°C 超聲處理後，測得的導電度(c)及黏滯係數(η)。水溶液的導電度愈大，黏滯係數愈小。



2.27°C 的水的黏滯係數 0.85 cp，超聲處理 10 分鐘的氬氣奈米氣泡水溶液 $\eta = 0.68\text{cp}$ ，黏滯係數比水的 0.85 cp 減少了 20%。

圖二十一: 奈米氬氣水溶液的導電度 (c) 以及黏滯係數 (η) 隨超聲處理時間 (T) 的變化。

肆、應用

1. 超聲處理過的奈米氣泡水溶液的導電度隨溫度的改變產生大幅度的改變，可利用這性質做成隨溫度改變的可變電阻器。
2. 醫學上利用奈米氣泡水溶液的低黏滯性來輸送注射液〔3〕，做標靶治療；本實驗得知溫度對奈米氣泡水溶液的黏滯係數有大幅度的影響，可供醫學領域參考。

伍、結論

本研究利用自製的導電度測量裝置，測量研究經超聲處理的奈米氣泡水溶液的導電度，探討溫度以及外加磁場對奈米氣泡水溶液的導電度的影響；發現奈米氣泡水溶液的導電度以及黏滯係數隨溫度改變大幅度的變化，此結果，可應用導醫學領域上。

陸、參考資料

1. 楊承勸、朱耿宏: 「實驗探討奈米氣泡水溶液的物理性質研究」, 2017 年臺灣國際科學展覽會物理與天文科。 www.ntsec.gov.tw
2. Emil Roduner, 2006 Size matters: why nanomaterials are different. *Chem. Soc. Rev.* **35**, 583-592

2. Mano Y, et al. 2009 Application of nanobubbles to medical field, *Material integration*, **22**, 30-35

4. Kazunari Ohgaki, Nguyen Quoc Khanh, 2010 Physiochemical approach to nanobubble solutions, *Chemical Engineering Science*, **65**, 1296-1300

【評語】 160030

作品延續去年的成果，再以奈米氣泡對溶液導電性影響之研討，能在氧氣氣泡的實驗中，發現對溶液導電度有極高影響，建議可再就此現象作深入及廣泛之探討，揭露新穎物理現象，並就機制作討論。