

中華民國第四十八屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 物理科

第二名

040104

電潤濕

學校名稱：國立科學工業園區實驗高級中學

作者： 高二 李承雍 高二 黃廷暉 高二 洪珮筑	指導老師： 陳元彰
---	------------------

關鍵詞： 電濕潤、水滴微觀平台、表面張力

摘要：

這是一個研究水珠受到外加電場而改變形狀的實驗，我們利用儀器，組成「水滴微觀平台裝置」，再加以電場，並對以下變因進行實驗：

(a)水量及溼度的改變。

(b)電場(電極間的電壓、距離、及正極負極的位置)

(c)水珠(NaNO_3 水溶液、 NaCl 水溶液、RO 逆滲透水、二次去離子水)。

我們在固定溼度(84%)及溫度(25°C)下進行實驗。進而，我們發現，外加的鉛直方向電場不論正負極位於上或下，都較未加電場時不易變扁；當水珠使用 NaCl 水溶液時，其濃度與水珠的變扁速率有密切關係。因此我們又更進一步地取了 NaNO_3 水溶液進行實驗，發現 NaNO_3 較 NaCl 更易受影響。

壹、動機：

市面上有些廠商藉由改變外加電場大小，使水珠表面曲率改變，以控制其光學性質，而製成可改變焦距的液態鏡頭。我們決定從了解水滴在電場下的變化開始研究。

貳、目的

- 一、設計及製作水滴微觀平台裝置。
- 二、探討水量及溼度的改變對水珠接觸角變化的影響。
- 三、研究電場對水珠接觸角變化率的影響。
- 四、以不同溶液研究電場下水珠接觸角變化的情形。
- 五、探討電場下微水珠的應用。

參、器材：

一、器材

1	變壓器.〈TAI YEE SHING〉	×3	2	碼表.〈CASIO〉	×3
3	單刀開關.	×3	4	剪刀.	數支
5	自製倍壓器.	×3	6	手套(絕緣用)	數支
7	鐵架.	×3	8	三用電表.〈brother〉	×6
9	螺旋測微器.〈Mitutoyo〉	×3	10	電線	數條
11	膠帶.〈3M〉	若干	12	複式顯微鏡.〈ELIZA Tokyo〉	×3
13	微量滴管(5~10 微公升)	×1	14	木塊(裝置載物台用)	數個
15	鋁片(電極)	數片	16	相機〈Nikon、Sony〉	各一
17	Adobe illustrator 軟體	軟體			

表一 器材

二、藥品

1	RO 逆滲透水	適量	2	二次去離子水	適量
3	NaNO ₃	適量	4	NaCl	適量
5	氧氣	適量			

表二 藥品

肆、研究過程

實驗一：設計及製作水滴微觀平台裝置

水滴微觀平台：

我們自行設計一組水滴微觀平台。我們以複式顯微鏡當作觀察工具，且選用了螺旋測微器作為平台。

實驗後發現水滴要在約 500V 以上的電壓下，其產生的變化才能與對照組有區別，因此我們自製電路、倍壓器以提升電壓。

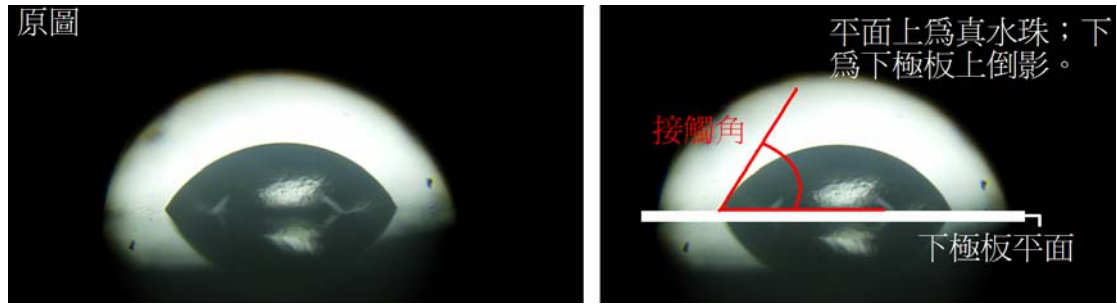
實驗二：探討水量及溼度的改變對水珠接觸角變化的影響

水量及溼度皆可能影響水珠接觸角的變化情形，因此我們分別就兩種變因進行討論：

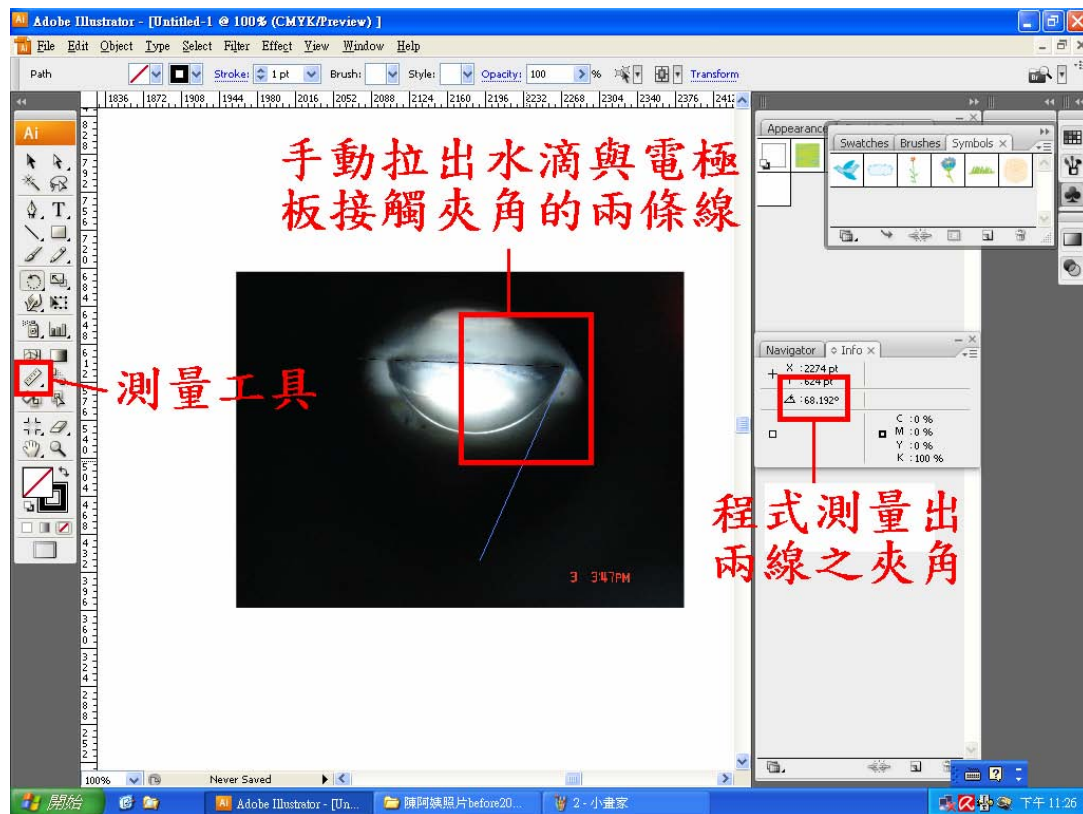
一、水量：

參考資料中，微米級以下之水滴不受水量影響。當水珠為 $1\ \mu\ell (=10^{-6}\ell)$ 進行觀察時，我們發現水珠受水量影響仍然非常大，因此我們固定溼度、溫度以觀察水量對水珠接觸角的影響：

- (一) 架好如圖一所示之器材組，並在顯微鏡最低倍率(目鏡 15×、物鏡 4×)之下觀察。
- (二) 控制室溫為 25℃ 溼度為 84% 下進行實驗。
- (三) 以微量滴管定量 $1\ \mu\ell$ 、 $5\ \mu\ell$ 、 $10\ \mu\ell$ 之 RO 逆滲透水水滴滴於下極板表面，數位相機拍攝第一張照片直至全蒸發。
- (四) 並記錄實驗結果。



圖一 接觸角示意圖



圖二 Adobe illustrator 接觸角測量示意圖

(五) 重複**實驗二**——步驟(三)~(四)，並繪成表格。

二、溼度所引起的水珠蒸發：

幾次實驗之後，我們了解到溼度對實驗的影響也是很大的，因此我們在定溫取不同溼度，藉以觀察溼度對本實驗的影響，步驟如下：

- (一) 架好如圖一所示之器材組，並在顯微鏡最低倍率(目鏡 15x、物鏡 4x)之下觀察。
- (二) 控制室溫為 25°C，分別將溼度定為 54%、68%、84%進行實驗。
- (三) 重複**實驗二**——步驟(三)~(四)，並繪成表格。

我們發現為避免溼度長時間影響使實驗失真。往後實驗皆進行五分鐘即結束。

實驗三：研究電場對水珠接觸角的影響

一、改變上下極板的極性(正負極分別於上或下)：

根據參考資料，任二不同物質所形成之介面皆帶有電荷，而此電荷就是造成水珠在電場下有特殊效應的主要原因，為測得其電荷，我們改變上下極板的極性，試圖研究其中的差異。

- (一) 架好如圖一所示之器材組，並在顯微鏡最低倍率(目鏡 15x、物鏡 4x)之下觀察。
- (二) 定上下極板間電位差為 800V；上下極板間距離為 0.175cm，下極板不加絕緣層；溫度 25°C；溼度 84%。
- (三) 分別使上極板為正極；下極板為負極，和與之相反的實驗組，更兩組進行實驗。
- (四) 以微量滴管定量 1 μl 之 RO 逆滲透水水滴於下極板表面，同時以數位像機拍攝。
- (五) 記錄實驗結果。
- (六) 重複三次步驟(四)~(五)，並繪成表格。

二、改變上下極板之間的距離：

做法如下：

- (一) 架好如圖一所示之器材組，並在顯微鏡最低倍率(目鏡 15x、物鏡 4x)之下觀察。
- (二) 定上下極板間電位差為 800V；上下極板間距離為 0.175cm，下極板不加絕緣層；溫度 25°C；溼度 84%；上極板為負極，下極板為正極。
- (三) 分別取不同上下極板間距離實驗。
- (四) 重複實驗三——的步驟(四)~(五)。

三、改變上下極板間電壓大小：

做法如下：

- (一) 架好如圖一所示之器材組，並在顯微鏡最低倍率(目鏡 15x、物鏡 4x)之下觀察。
- (二) 定上下極板間電位差為 800V；上下極板間距離為 0.175cm，下極板不加絕緣層；溫度 25°C；溼度 84%；上極板為負極，下極板為正極。
- (三) 分別取不同電壓實驗。
- (四) 重複實驗三—— 的步驟(四)~(五)。

- 四、在下極板上加絕緣層(一層保鮮膜及一層膠帶)改變電場的性質及大小：
- (一) 架好如圖一所示之器材組，並在顯微鏡最低倍率(目鏡 15×、物鏡 4×)之下觀察。
 - (二) 定上下極板間電位差為 800V；上下極板間距離為 0.175cm，下極板不加絕緣層；溫度 25℃；溼度 84%；上極板為負極，下極板為正極。
 - (三) 分別取下極板未加上絕緣層者及下極板加上絕緣層者進行實驗。
 - (四) 重複實驗三—一 的步驟(四)~(五)。

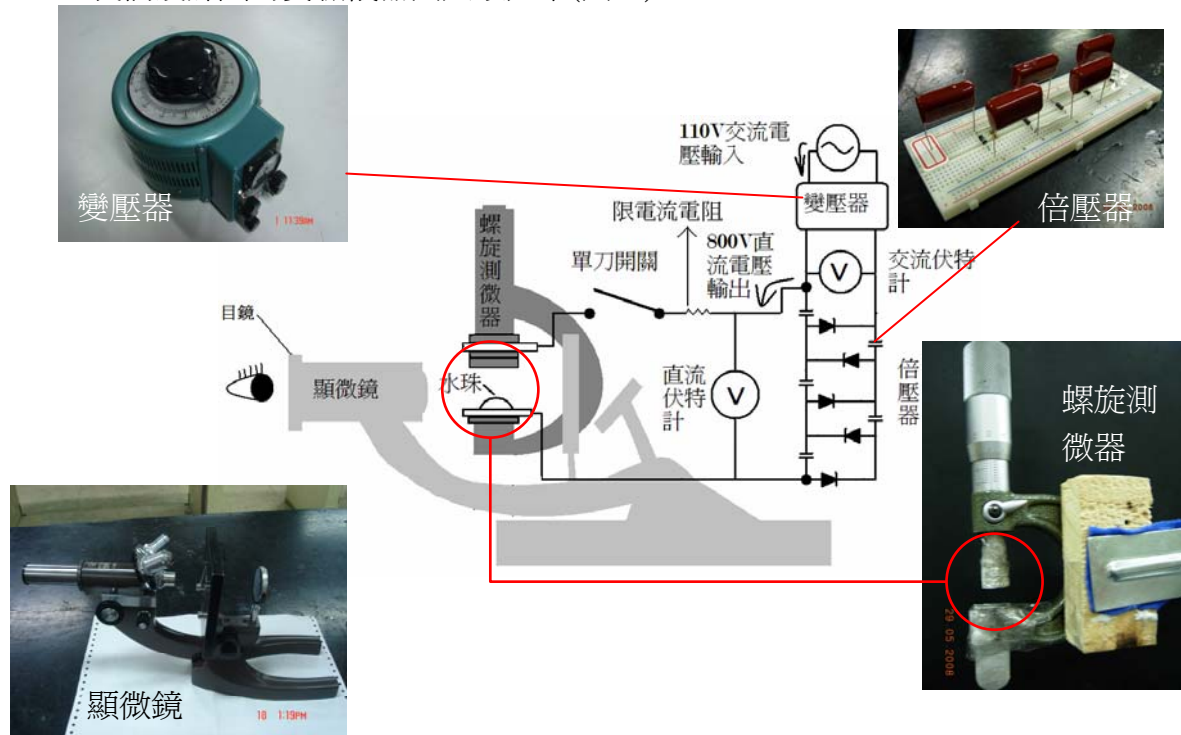
實驗四：研究不同的水珠種類對水珠接觸角的影響

- 一、架好如圖一所示之器材組，並在顯微鏡最低倍率(目鏡 15×、物鏡 4×)之下觀察。
- 二、定上下極板間電位差為 800V；上下極板間距離為 0.175cm，下極板不加絕緣層；溫度 25℃；溼度 84%；上極板為負極，下極板為正極。
- 三、分別取二次去離子水、RO 逆滲透水、不同濃度(2M、1 M、0.5 M、0.1 M)的 NaCl 水溶液、及不同濃度(2M、1 M、0.5 M、0.1 M) NaNO₃水溶液等四種不同液體進行實驗探討。
- 四、以微量滴管定量 1 μ l 之 RO 逆滲透水水滴滴至下極板表面，同時按下電源開關並開始計時，以數位像機取照片。
- 五、紀錄實驗結果。
- 六、重複實驗三—一 的步驟(四)~(五)。

伍、結果與討論

實驗一：設計及製作水滴微觀平台裝置

我們設計出的實驗儀器圖大致如下(圖三)：

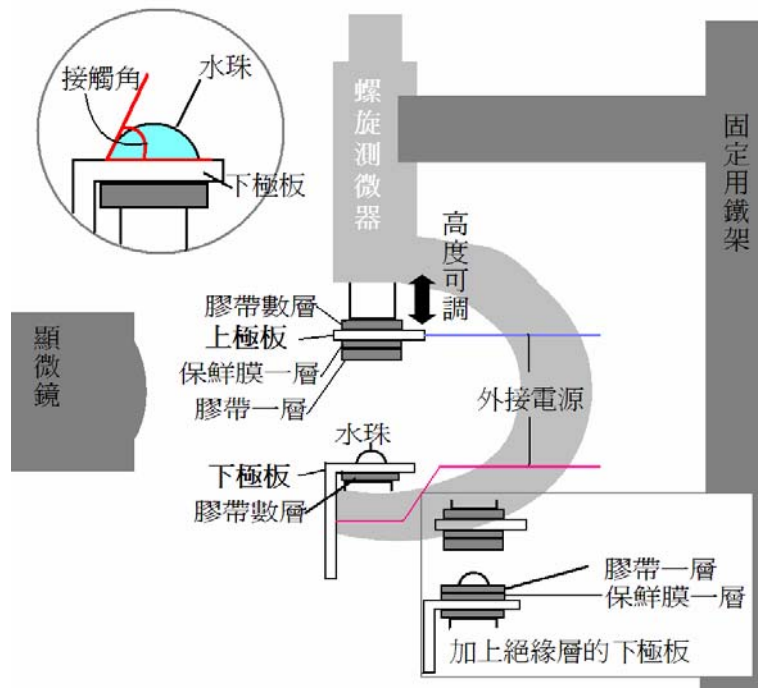


圖三 水滴微觀平台裝置示意圖

我們分為「水滴微觀平台」及「電路」兩個部份：

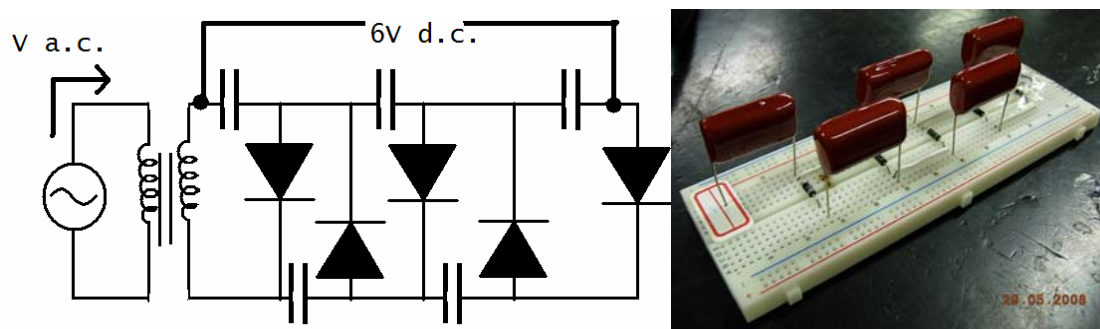
一、水滴微觀平台

如右圖。



圖四 水滴微觀平台示意圖

二、電路



圖五 倍壓器電路圖及真實示意圖(輸入 V a.c 後會以 6V D.C. 輸出)

實驗二：探討溼度、及水量的改變對水珠接觸角變化的影響

一、水量

- (一) 我們須固定每滴水珠的水量，太大滴的水時，我們發現重力的影響會變得顯著。推測水滴所受的力，重力與半徑三次方成正比，而表面張力與半徑一次方反比，突顯大小對時變率的影響，因此我們採用微量滴管上精確範圍內能滴出的最小量水滴，以增加實驗精確性。
- (二) 我們藉由量測照片中的水珠大致了解到接觸角的大小。發現三種水量有 $1\ \mu\ell < 5\ \mu\ell < 10\ \mu\ell$ 的趨勢。我們推測原因同上。

二、溼度

次數	時間(min)	0	1	2	3	4
	角度°					
1		62.8°	53.6°	47.2°	41°	31°
2		48°	41.5°	37°	32.3°	25.8°

次數	時間(min)	5	6	7	8	9
	角度					
1		30.8°	26.5°	23°	8.2°	0°
2		16.4°	13°	8°	0°	

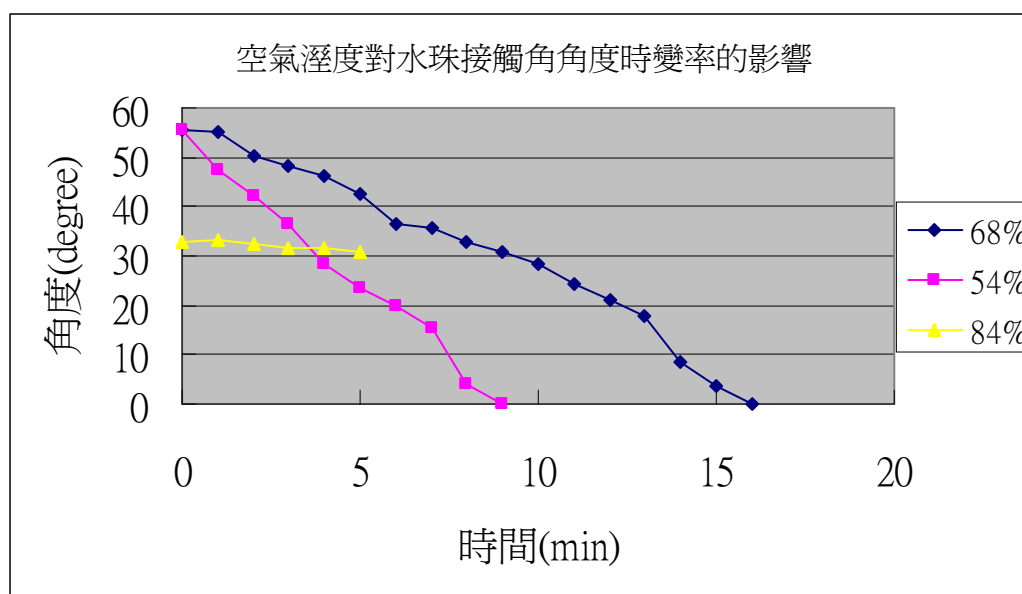
表三 溼度為 54%時水珠接觸角角度時變率對時間變化結果

次數	時間(min)	0	1	2	3	4	5	6	7	8
	角度									
1		54	53.5	47.2	45	42	37.5	33.8	33	31
2		57	56.5	53.5	51.2	50.2	47.8	39.5	38.4	34.5

次數	時間(min)	9	10	11	12	13	14	15	16
	角度								
1		27.5	24.5	18.5	13	9	8.7	7	0
2		34	32.3	29.8	29.5	27	8.5	0	

表四 溼度為 68%時水珠接觸角角度時變率對時間變化結果

我們將以上表三、四對濕度做的數據整理繪製成折線圖如下：



圖六 空氣濕度對水珠接觸角度時變率的影響

圖六中可以明顯的發現，水滴的蒸發量確實受濕度的影響甚多，下面會將三條數據做比較。

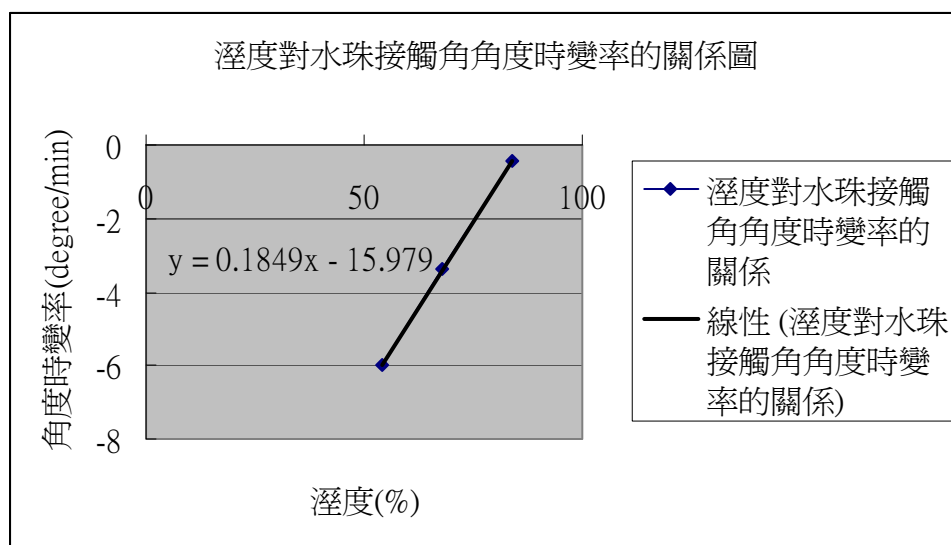
我們從實驗數據看到，僅僅 14% 的濕度差竟然使水滴完全蒸發的時間增加了約 7 成，最後我們採取了 84% 作為實驗的固定濕度。

將上圖取線性回歸，得到下表

溼度(%)	線性回歸方程式
84	$y = -0.46x + 33.25$
68	$y = -3.3869x + 58.71$
54	$y = -6.0076x + 54.339$

表五 溼度實驗組角度時變率的一次回歸方程表

將上表不同濕度時的 X 項係數(也就是角度時變率)繪成折線圖如下



圖七 溼度對水珠接觸角角度時變率關係圖

水滴接觸角時變率的變化幾乎是線性的，意即若任給一個濕度的條件下，我們就可以推測出角度時變率。

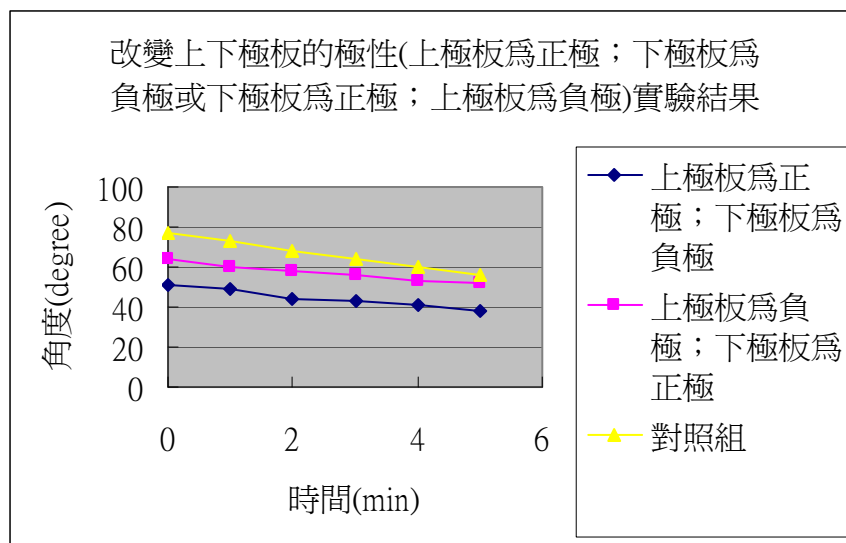
實驗三：研究電場對水珠接觸角的影響

一、改變上下極板的極性

電極方向	時間(min)	0	1	2	3	4	5
	角度 (degree) 次數						
上極板為正極；下極板為負極	1	59.9	53.2	48.2	48.0	44.2	43.8
	2	50.9	46.9	42.6	40.1	40.0	33.9
	3	47.8	47.1	42.0	41.0	39.8	37.2
上極板為負極；下極板為正極	1	58.2	55.1	52.0	50.8	44.2	47.7
	2	69.5	63.8	61.9	60.0	55.2	53.9
	3	64.9	62.1	59.3	58.7	58.6	54.8

表六 改變上下極板的極性實驗結果

我們將上表六數據繪為下圖

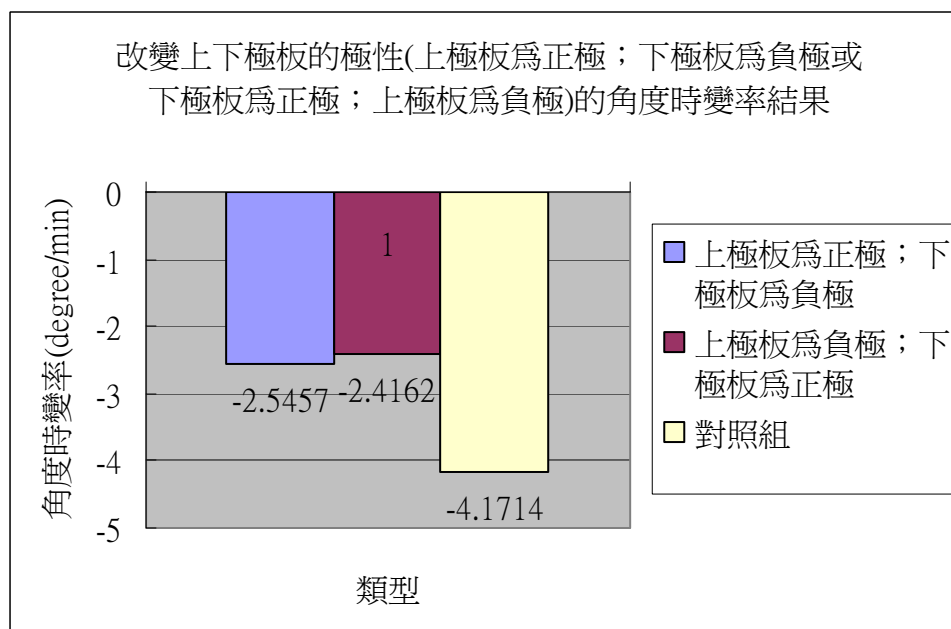


圖八 改變上下極板的極性

我們取一次回歸方程式，並將代表角度時變率的一次項係數取出繪成下圖

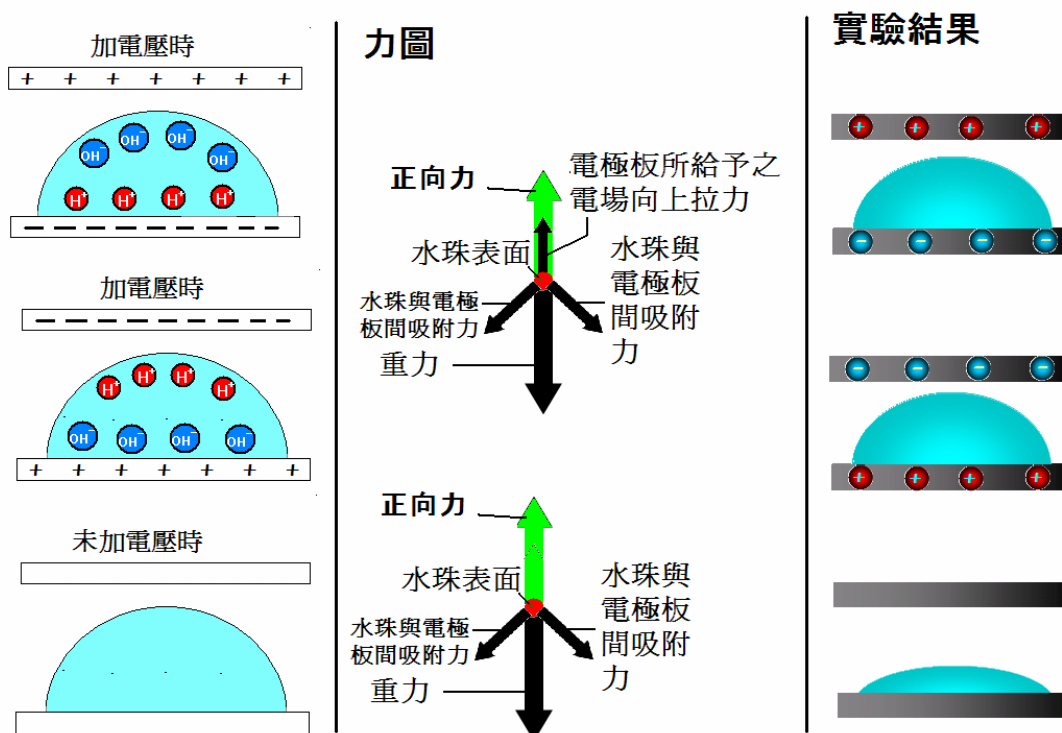
電極方向	線性回歸方程式
上正下負	$y = -2.5457x + 50.903$
上負下正	$y = -2.4162x + 63.302$
對照組	$y = -4.1714x + 76.762$

表七 改變上下極板的極性與角度關係圖的一次線性回歸



圖九 改變上下極板的極性與接觸角角度時變率結果

首先我們發現不論上極板為正極或是上極板為負極的實驗兩者的接觸角角度時變率皆小於對照組，我們以如下的實驗模型解釋：



圖十 改變上下極板的極性模型示意圖

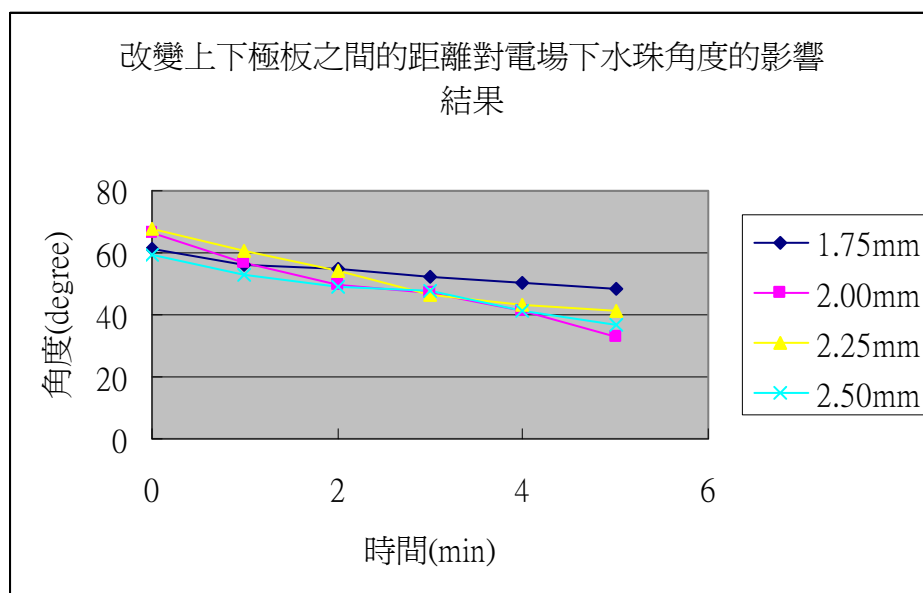
(一)水珠在電場之下，其中微量解離(10^{-7})的水分子及表面可能帶有的電荷(上圖十未繪出)，在受到如上圖電場作用之下，內部結構會有如上圖十之分佈。又如上圖十，當陽離子受電場之力而移至水珠表面時，會給予表面一向上抬升之力，使水珠角度時變率降低；陰離子則反向沉降入水珠中，因為未接觸表面，所以沒有影響接觸角角度時變率。反之亦然。使此二情況皆有小於對照組的接觸角角度時變率。

二、 改變上下極板之間的距離：

高度	時間(min)	0	1	2	3	4	5
	角度(degree) 次數						
1.75mm	1	73.5	70.0	67.8	65.0	62.2	61.2
	2	65.0	57.0	56.2	54.0	53.0	51.5
	3	44.7	42.0	40.1	37.0	35.2	33.0
2.00mm	1	64.1	52.6	52.1	52.0	49.2	42.0
	2	67.3	54.1	44.2	43.8	34.0	24.9
	3	68.9	62.8	52.3	46.4	40.7	31.8
2.25mm	1	64.7	54.3	51.6	38.1	32.2	31.2
	2	70.8	66.2	57.5	55.0	52.9	48.3
	3	67.2	60.8	53.1	47.1	45.2	45.0
2.50mm	1	60.0	48.9	47.1	47.0	42.8	37.9
	2	60.7	56.5	51.7	50.0	43.7	40.2
	3	57.2	52.8	48.9	46.0	37.2	31.6

表八 改變上下極板之間的距離實驗結果

我們可以由實驗結果表八得到如下圖十一之電極板間距離對水珠接觸角度時變率的關係圖十一。

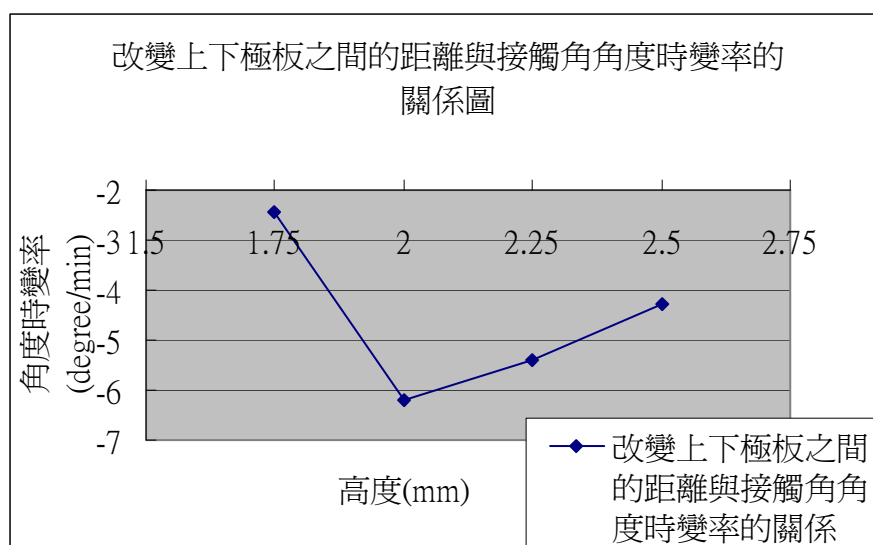


圖十一 改變上下極板之間的距離對電場下水珠角度的影響。

我們進一步對其取線性回歸，得到如下表九的方程式。比較代表角度時變率的 x 項係數，我們繪出下圖十二：

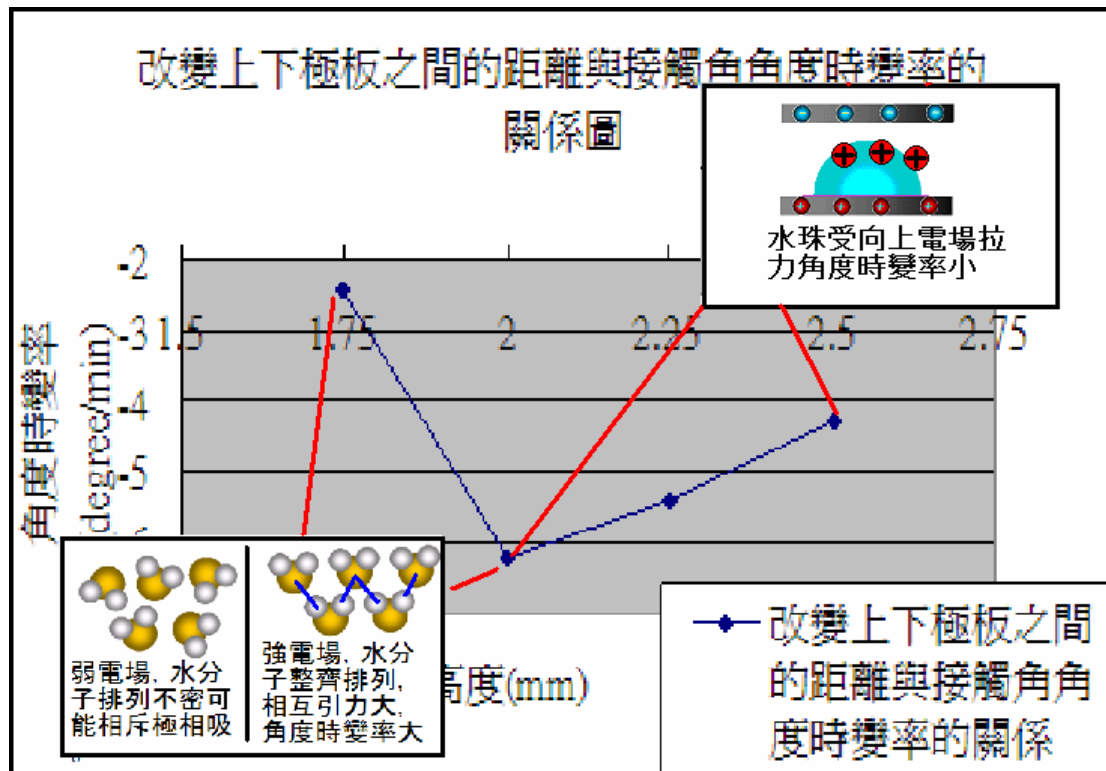
極板間距離	線性回歸方程式
1.75	$Y = -2.42x + 67.417$
2	$y = -6.2019x + 64.571$
2.25	$y = -5.3905x + 65.765$
2.5	$y = -4.2781x + 58.484$

表九 改變上下極板之間的距離對電場下水珠角度的影響依次線性回歸。



圖十二 改變上下極板之間的距離對電場下水珠接觸角角度時變率的关系圖

- (一)我們發現極板間距離為 1.75mm 極 2.00mm 時水珠的角度時變率隨極板間距離升高而呈現一下滑的趨勢，推測這是因為當電極間距離加大時，電場變小，其現象如實驗三討論。
- (二)在距離為 2.00mm 至 2.75mm 的實驗組中，我們進一步發現水珠的接觸角角度時變率隨距離的增加而有減少的趨勢，推測這是因為當距離升到一個臨界距離時，帶有極性的水分子會因為電場過小而鬆散化，使極性水分子間排斥機會及次數變大使水珠接觸角角度時變率變小。



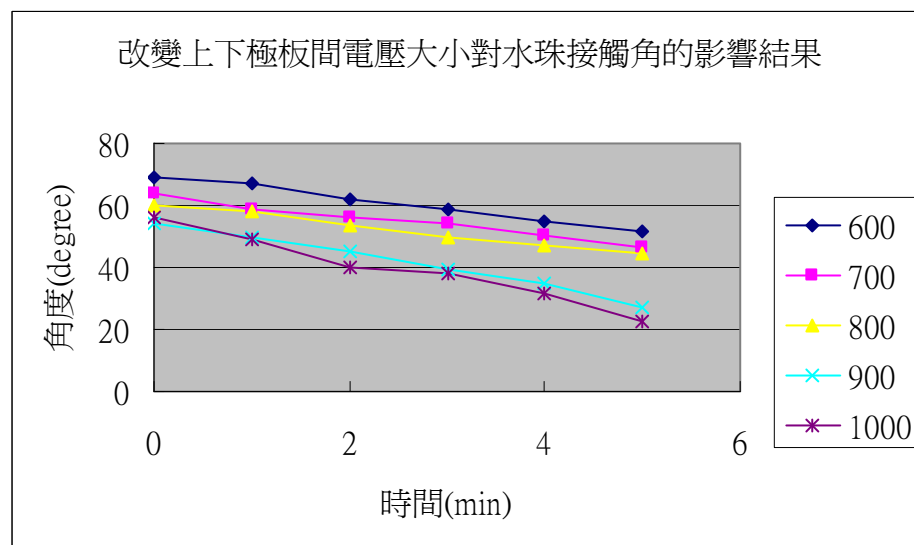
圖十三 改變上下極板之間的距離對電場下水珠角度的影響模型示意圖

三、改變上下極板間電壓大小：

電位差(V)	時間(min)	0	1	2	3	4	5
	角度(degree)						
	次數						
600	1	63.6	63.5	60.5	56.8	56.0	54.1
	2	71.9	67.0	65.5	65.3	65.1	61.1
	3	71.0	70.2	59.2	53.1	43.9	39.5
700	1	70.0	65.0	64.9	63.8	63.1	58.1
	2	74.0	70.8	70.5	70.1	67.0	66.2
	3	48.1	40.0	32.3	28.1	21.4	14.7
800	1	62.8	62.2	59.0	57.8	57.0	54.2
	2	69.5	69.2	63.3	64.5	62.0	62.4
	3	47.1	41.9	37.9	27.1	22.0	17.2
900	1	60.1	50.2	47.9	45.8	37.9	30.8
	2	64.0	62.4	52.5	45.1	41.0	32.9
	3	39.2	36.8	35.0	26.3	25.2	17.4
1000	1	46.8	41.8	36.5	29.4	26.5	16.2
	2	64.9	56.5	43.5	46.2	36.8	29.2

表十 改變上下極板間電壓大小實驗結果

將上表時繪出如下圖十四

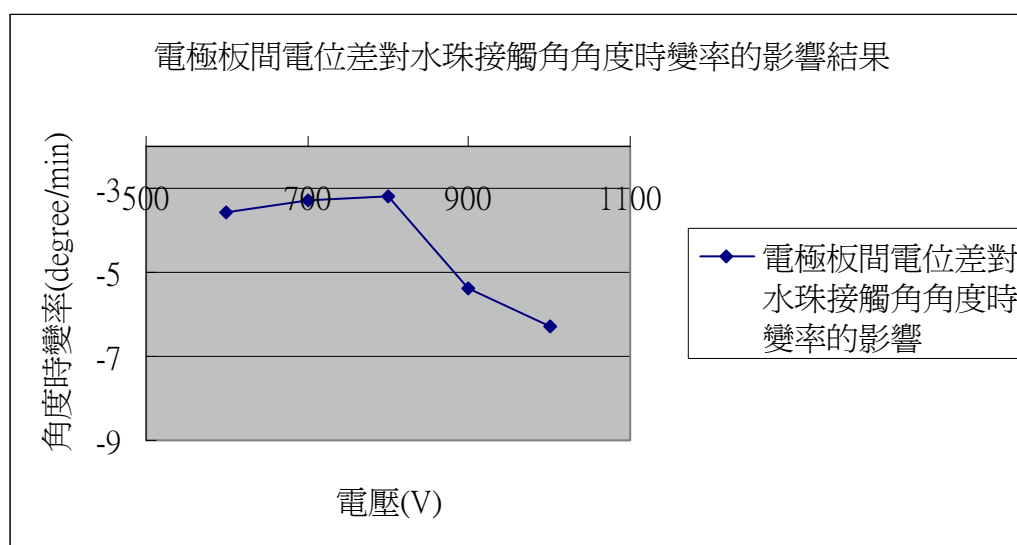


圖十四 改變上下極板間電壓大小對水珠接觸角變化的影響關係圖

分別對每一實驗組曲線取線性回歸得到下表，並進一步繪製圖電壓對水珠接觸角角度時變率的示意圖：

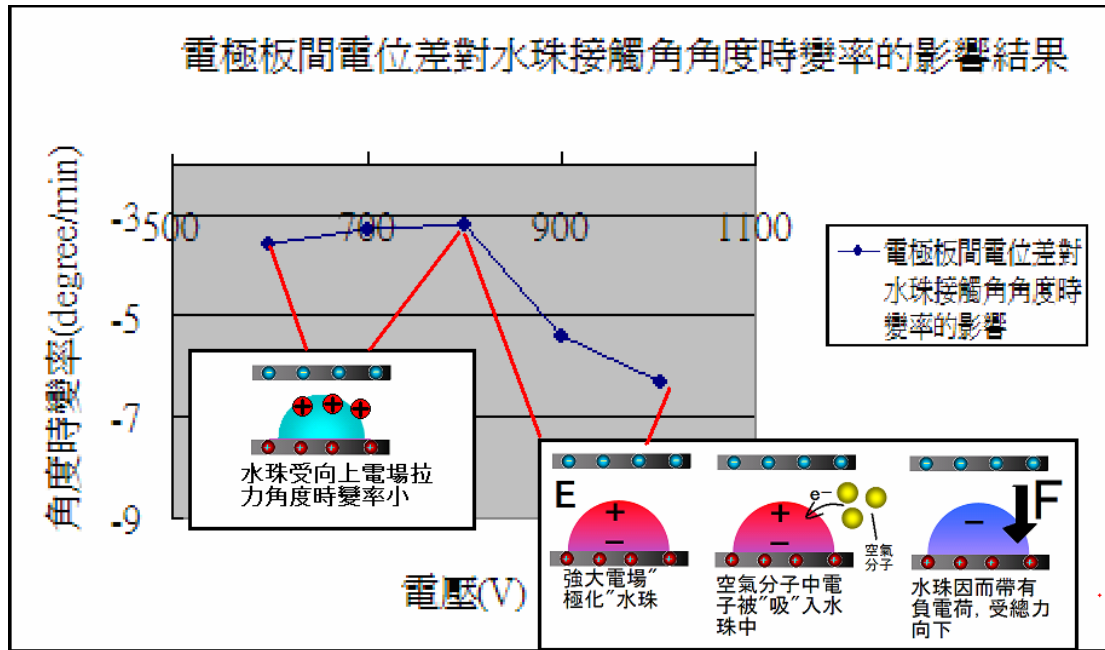
電極板間電壓大小	線性回歸方程式
600	$Y = -3.5819x + 69.36$
700	$Y = -3.2771x + 63.087$
800	$Y = -3.1971x + 60.054$
900	$Y = -5.3819x + 55.149$
1000	$Y = -6.2986x + 55.271$

表十一 改變上下極板間電壓大小對角度圖的線性回歸表



圖十五 改變上下極板間電壓大小對角度時變率的影響

- (一) 我們發現在電壓為 600V、700V、800V 三個實驗組中，水珠的接觸角角度時變率會隨電壓上升而減少。我們推測這是因為電壓上升時，電場隨之變大，水珠中微量解離的水分子中其離子會隨電場變大而受到越來越大的向上拉力，使接觸角角度時變率越來越小。
- (二) 而在 800V~1000V 的實驗組中，我們可以發現，接觸角角度時變率會隨電壓的上升而變大。我們推測這是因為再當電壓超越**臨界電壓**時，水珠會因為電場過大而過度**極化(如下圖)**使空氣中相反電性電荷掉入水珠中，而讓水珠表面或全體帶有與下極板電性相異的電荷，使水珠被下極板吸引；被上極板排斥，進而使接觸角角度時變率變大。



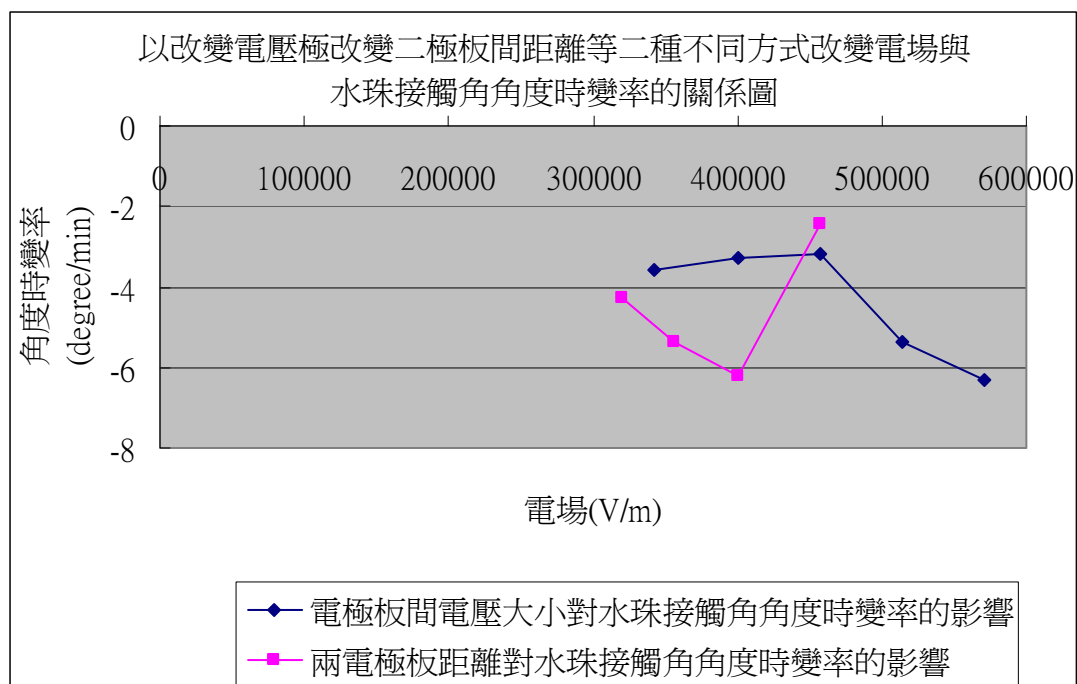
圖十六 改變上下極板間電壓大小模型示意圖

四、實驗三一三～實驗三一三之討論：

我們將實驗三一三及實驗三一三討論得到如下的圖、表：

分類		電場大小(V/m)	角度時變率(degree/min)
電極板間電壓大小(V)	600	342900	-3.5819
	700	400000	-3.2771
	800	457100	-3.1971
	900	514300	-5.3819
	1000	571400	-6.2986
極板間距離(mm)	0.00175	457100	-2.42
	0.002	400000	-6.2019
	0.00225	355600	-5.3905
	0.0025	320000	-4.2781

表十二 實驗三一三、實驗三一三綜合比較結果

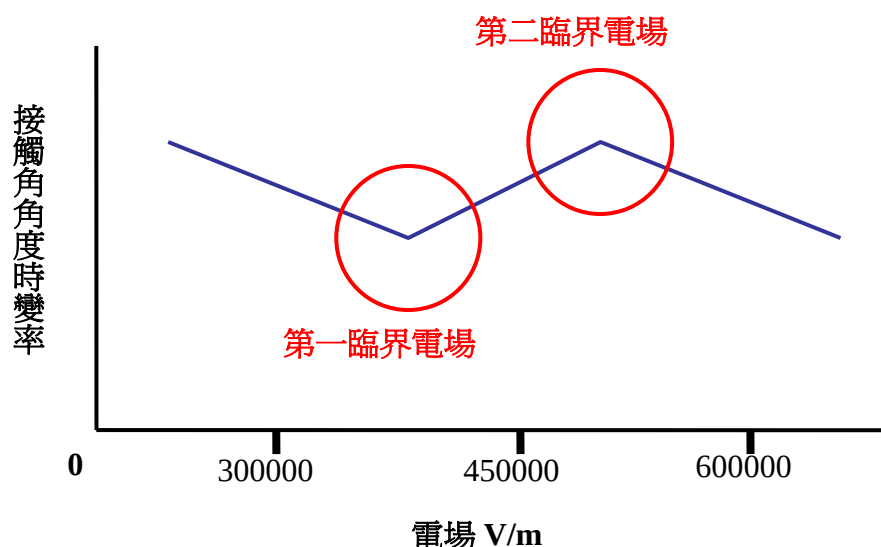


圖十七 實驗三一二、實驗三一三綜合比較結果電場圖

(一)電場約為 350000V/m ~450000V/m 時，水珠接觸角角度時變率會隨電場的升高而減少，這是因為水珠在此範圍電場之下，其內部微量解離的水分子會被電場牽引，連帶使水珠表面受一向上力，使其接觸角角度時變率隨越來越大的電場變小。

(二)發現在電場約為 300000V/m ~350000V/m 時水珠接觸角角度時變率會隨電場的增加而增加，我們引用如上的推測，即當電場越來越大時帶有極性的水分子偶極會因而排列整齊，我們稱之為**液態晶體**。這個狀態之下，排列整齊使偶極間同極相斥的機會減小。

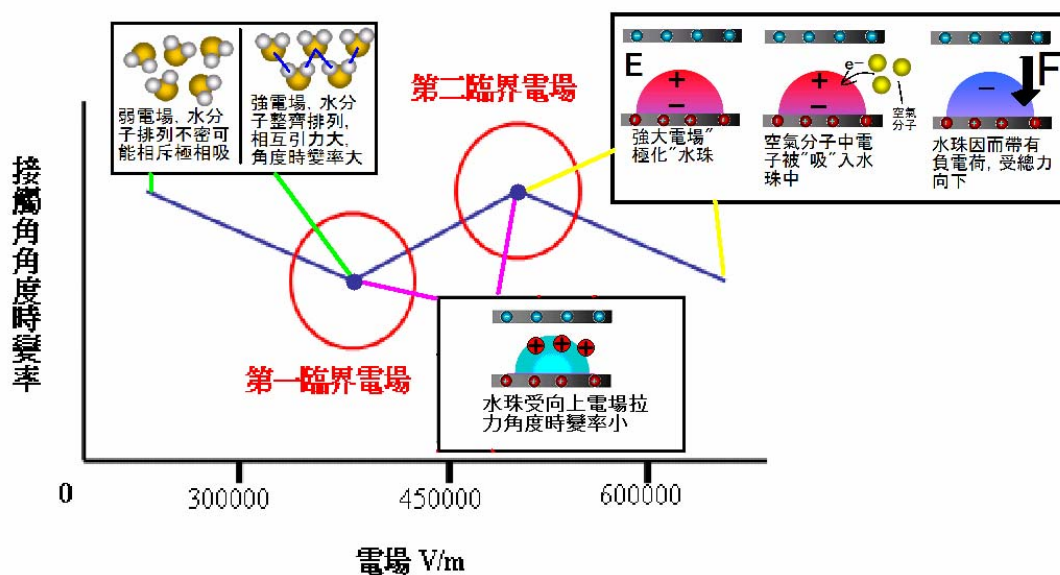
(三)縱觀全圖，我們可以重新繪出大至的電場對水珠接觸角角度時變率趨勢圖如下：



圖十九 實驗三一二、實驗三一三綜合比較近似示意圖

據此圖我們推測在電場為 $300000\text{V/m} \sim 600000\text{ V/m}$ 的範圍內水珠的角度時變率趨勢會有兩個轉折點，我們稱此二點所對應的電場值由小而大稱為**第一臨界電場**及**第二臨界電場**，在這兩個臨界電場之間，水珠的接觸角角度時變率會由水珠中微量解離的水分子主導，而與電場呈大致正向關係，在此二點外端則主要由水分子排列整齊程度主導，而與電場呈負相關關係。

(四)我們另外發現上圖中以兩電極間距離所繪製的電場對角度時變率結果圖中，當電場為 $400000\text{V/m} \sim 457100\text{V/m}$ 時水珠的角度時變率會隨電場的上升而成一個陡降的趨勢。我們推測這是因為電極板非理想平板，因此受到潤滑效應的影響，使電場在一開始升高時會陡降，其值低於理論值。



圖十九 實驗三一二、實驗三一三綜合比較結果模型示意圖

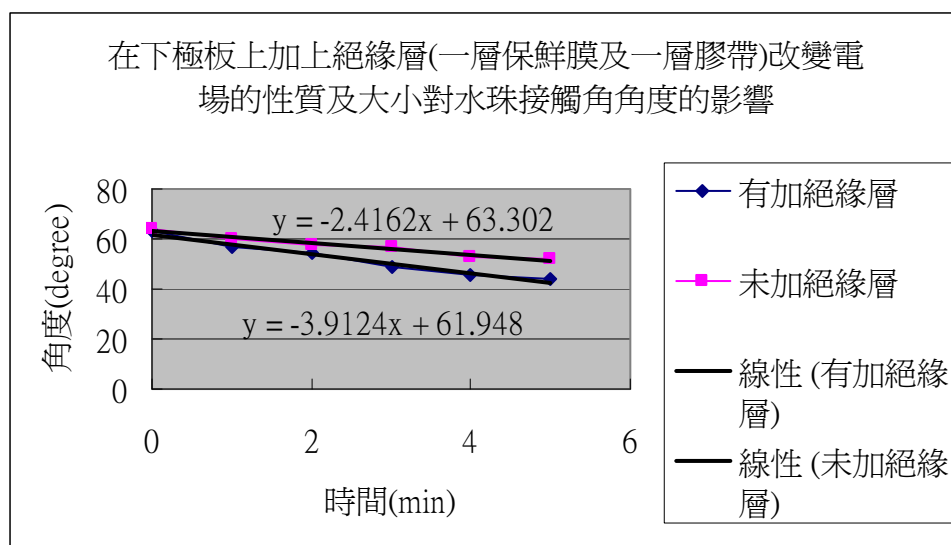
(五)如上三一(三)—(4)分析之後，我們可以預測研究兩極板間距離的實驗中，排除瀏海效應後，水珠接觸角角度時變率對電場作圖的圖形會與上圖以改變電壓觀察的水珠接觸角角度時變率圖形中 350000V/m ~450000V/m 的電場範圍間的圖形更為相似(即更為緩和)，此二實驗共同繪出的圖形將更符合上圖的結果。

四、在下極板上加上絕緣層(一層保鮮膜及一層膠帶)改變電場的性質及大小：

電極方向	時間(min)	0	1	2	3	4	5
	角度 (degree)						
	次數						
有加絕緣層	1	66	59	57.2	51.8	48.6	46
	2	57.4	52.9	50.8	50.2	47.2	46
	3	66.8	58.9	54.9	44	42.2	39.1
未加絕緣層	1	58.2	55.1	52	50.8	44.2	47.7
	2	69.5	63.8	61.9	60	55.2	53.9
	3	64.9	62.1	59.3	58.7	58.6	54.8

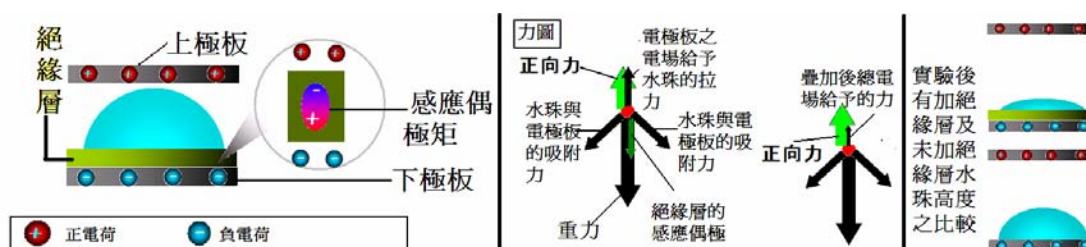
表十三 在下極板上加上絕緣層改變電場的性質及大小實驗結果。

我們根據上表繪出如下關係圖



圖二十 在下極板上加上絕緣層改變電場的性質及大小對角度關係圖。

對二線取線性回歸，可以發現有加絕緣層的電極板有相對於未加絕緣層較大的角度時變率，我們推測其原因如下：



圖二一 在下極板上加上絕緣層(一層保鮮膜及一層膠帶)改變電場的性質及大小模型示意圖。

(一)加上絕緣層後，角度時變率則變大，我們推測是因為加上的絕緣層材質對於外加的強電場產生了感應偶極矩，此感應偶極矩與外加強電場的偶極矩方向相反，因此使水滴受到外加強電場的影響力減小，角度時變率變大。

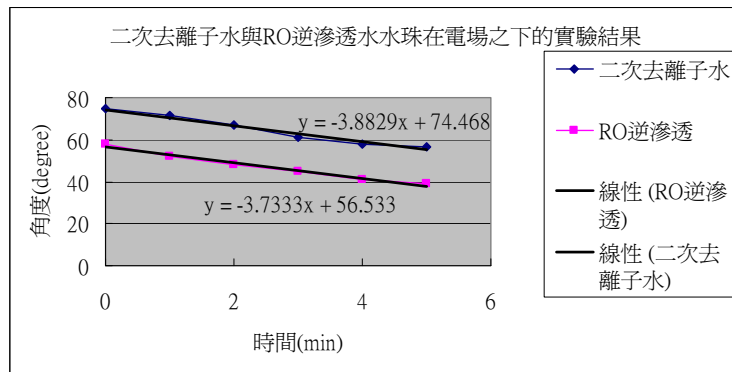
實驗四：研究不同的水珠種類對水珠接觸角的影響

一、二次去離子水對 RO 逆滲透

電極方向	時間(min)	0	1	2	3	4	5
	角度(degree) 次數						
二次去離子水	1	66.8	61	58	49	47.8	47
	2	80.2	78	67.5	67	62.5	62
	3	76.8	75.4	75	67	63.7	61
RO 逆滲透	1	65.5	59.8	55	53.2	51.8	49.9
	2	59	53.3	50	45.5	42	38.2
	3	49	43.5	40	35	29.9	29

表十四 二次去離子水對 RO 逆滲透實驗結果

我們以上表繪出如下的關係圖後



圖二二 二次去離子水對 RO 逆滲透對角度關係圖

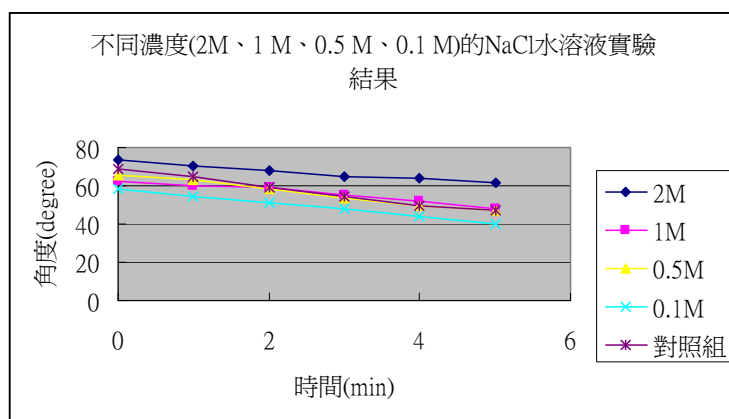
我們發現 RO 逆滲透及二次去離子水的接觸角角度時變率相近，推測這是因為二者內含離子數皆極微量，因此有一致的實驗結果。

二、不同濃度的 NaCl 水溶液

濃度(M)	時間(min)	0	1	2	3	4	5
	角度(degree) 次數						
2M	1	84	82	80	80	80	79
	2	70	70	66	63	60	55
	3	68	59	58	52	51	50
1M	1	71	68	69	64	61	54
	2	66	65	61	60	56	54
	3	50	48	47	42	40	37
0.5M	1	62	58	55	51	50	45
	2	71	70	70	60	57	55
	3	63	61	50	49	43	41
0.1M	1	60	55	53	50	49	41
	2	65	64	58	55	53	48
	3	51	45	42	40	31	30
對照組	2 M	1	58	51	48	45	43
	2	80	78	70	64	56	52

表十五 NaCl 溶液對接觸角時變率之結果數據

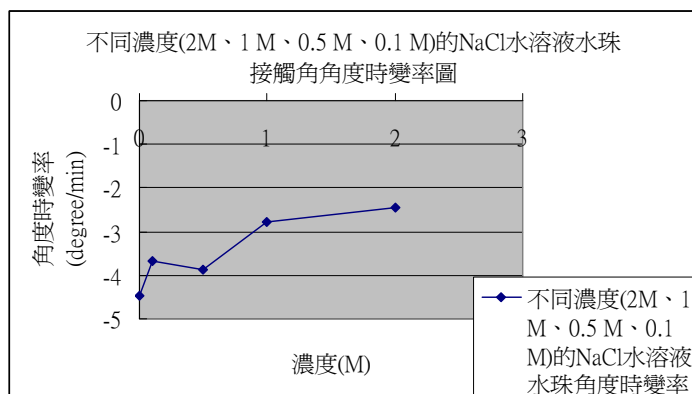
我們將上表會成下圖，同樣分別對每一濃度對角度線取線性回歸並繪成圖二三



圖二三 不同濃度的 NaCl 水溶液對接觸角關係圖。

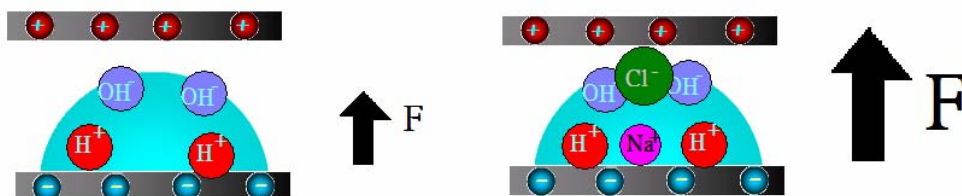
濃度(M)	線性回歸方程式
2M	$Y = -2.4667x + 73.222$
1M	$Y = -2.7905x + 63.254$
0.5M	$y = -3.8762x + 65.857$
0.1M	$Y = -3.6762x + 58.635$
對照組	$Y = -4.4857x + 68.548$

表十六 不同濃度的 NaCl 水溶液對接觸角關係圖線性回歸表。



圖二四 不同濃度的 NaCl 水溶液對角度時變率關係圖。

我們發現水珠的接觸角角度時變率大致上會隨著 NaCl 的濃度上升而減少。正如同我們在實驗三一一的討論。

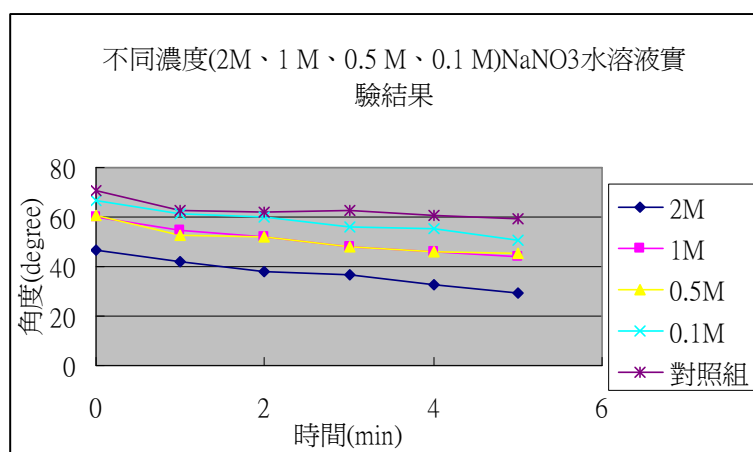


三、不同濃度 NaNO_3 水溶液

濃度(M)	時間(min)	0	1	2	3	4	5
	角度(degree) 次數						
2M	1	62°	58°	52°	54°	49°	45°
	2	45°	36°	32°	30°	24°	20°
	3	33	32	30	26	25	23
1M	1	51°	49°	49°	43°	44°	42°
	2	64°	56°	50°	50°	45°	42°
	3	65°	60°	58°	52°	50°	49°
0.5M	1	65°	50°	48°	45°	42°	45°
	2	63°	57°	58°	52°	51°	50°
	3	54	51	50	48	46	42
0.1M	1	63°	60°	60°	60°	60°	58°
	2	60°	55°	52°	50°	49°	43°
	3	78	70	68	59	58	51
對照組	2 M	1	62°	61°	60°	61°	60°
	2	2	80°	65°	64°	65°	61°

表十七 NaNO_3 溶液對接觸角時變率之結果數據

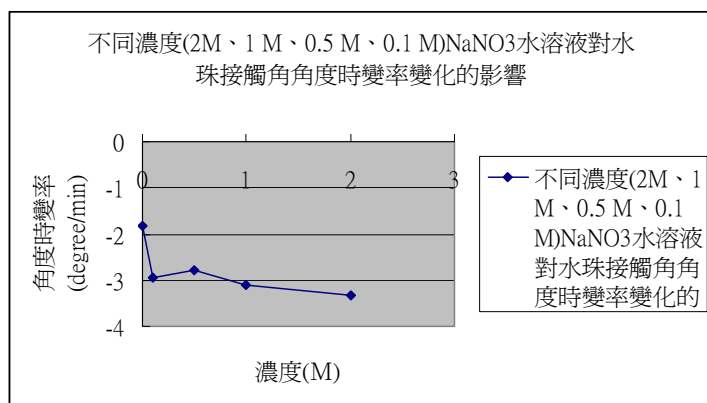
我們以上表繪製下圖，取一次回歸，並再次作圖：



圖二六 不同濃度 NaNO_3 水溶液對角度關係圖。

濃度(M)	線性回歸方程式
2M	$y = -3.3143x + 45.841$
1M	$y = -3.0952x + 58.794$
0.5M	$y = -2.7905x + 57.921$
0.1M	$y = -2.9524x + 65.937$
對照組	$y = -1.8286x + 67.738$

表十八 不同濃度 NaNO_3 水溶液對角度關係圖線性回歸表



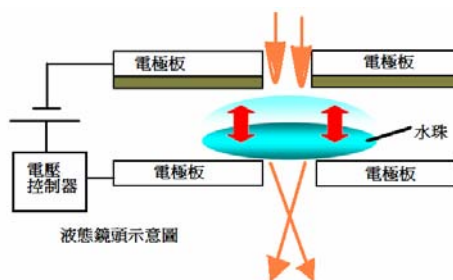
圖二七 不同濃度 NaNO_3 水溶液對接觸角角度時變率關係圖

我們發現以 NaNO_3 濃度進行實驗時，其角度時變率有隨濃度的升高而增加的趨勢。推測因為陰離子 NO_3^- 不可能因為電場而完全沉降，而是有一定均勻程度地散佈在水珠中，且由於其為離子團，具有大質量，因此造成整個水珠被 NO_3^- 的重量下壓，遂有濃度越大接觸角角度時變率越大的趨勢

實驗五：探討電場下微水珠的應用

我們整理出以下幾項電場下微水珠的應用

一、液態鏡頭—改變電壓控制電場來改變水珠接觸角。



圖二八 液態鏡頭示意圖

二、印表機固墨—透過加以電場的方法，使液態墨水顆粒更能相互融合及附著於紙面。

- 三、可用於診斷的生物鏡片—此時也可以加以電場使試劑因為顆粒小快速融合的效果
- 四、增加某些種類的電鍍效果—加以電場則能使電鍍更有效率品質更好。

陸、結論：

實驗二：探討水量及溼度的改變對水珠接觸角變化的影響

一、水量

藉由量測照片可分析水珠的接觸角的大小，分析後三種水量有 $1\mu\text{l} < 5\mu\text{l} < 10\mu\text{l}$ 的趨勢。即當水量越大時，重力越會明顯影響，使接觸角更小。因此我們決定選用較小的水珠。

二、溼度

- (一)、水滴的蒸發量受濕度的影響甚多。
- (二)、84%的濕度使 $1\mu\text{l}$ 的水珠在五分鐘之內的蒸發量不受影響。
- (三)、過高的濕度時，微量析出的水珠可能使兩電極板或其他電路短路，影響安全不適合實驗。

實驗三：研究電場對水珠接觸角變化率的影響

一、改變上下極板的極性

- (一)、水珠在電場下，陰陽離子個數相同所以所受電場之力也相同。
- (二)、不管上下極板分別為正或負極，水滴塌陷程度皆會較無電場時慢。

二、改變上下極板之間的距離

- (一)、極板間距離為 1.75mm 及 2.00mm 時，當電極間高度加高時，水珠接觸角角度時變率變小。
- (二)、在高度為 2.00mm 至 2.75mm 的實驗組中，當高度升到一個**臨界高度**時，水珠接觸角角度時變率變小。

三、改變上下極板間電壓大小

- (一)、我們發現在電壓為 600V、700V、800V 三個實驗組中，電壓上升時，接觸角角度時變率越來越小。
- (二)、在 800V~1000V 的實驗組中，電壓超越**臨界電壓**時，接觸角角度時變率變大。

四、在下極板上加上絕緣層(一層保鮮膜及一層膠帶)改變電場的性質及大小

- (一)、加上絕緣層後，角度時變率則變大。

實驗四：以不同溶液研究電場下水珠接觸角變化的情形

- 一、水珠的接觸角角度時變率大致上會隨著 NaCl 的濃度上升而減少。
- 二、以 NaNO_3 濃度進行實驗時，有濃度越大接觸角角度時變率越大的趨勢。

實驗五：探討電場下微水珠的應用

- 一、液態鏡頭
- 二、印表機固墨
- 三、可用於診斷的生物鏡片
- 四、增加某些種類的電鍍效果

柒、參考資料

一、相關網站：

電潤濕相關網站

www.nsc.gov.tw/files/popsc/2006_107/50-53.pdf

電潤濕相關網站

nsc.gov.tw/_NewFiles/popular_science.asp?add_year=2006&...&page=3

維基百科

zh.wikipedia.org/

電鍍光學濾光片

<http://tw.knowledge.yahoo.com/question/question?qid=1405112811088>

二、參考書目：

Fundamental of Physics	David Halliday	全華出版社	民 94
高中課本-表面張力電壓與電場	林明瑞 主編	南一出版社	民 97
基本電子學	杜見成著	全華出版	民 85
電子學概論與應用	陳沛仲編	復文書局出版	民 87
電子學研析經典:基礎篇	洪仁正編	揚智出版社	民 90
基本電學 2	陳加山編	新文京出版	民 93
基本電學	陳自雄編	儒林出版	民 87

【評語】 040104

能組裝實驗儀器並查閱相關資訊對所選定之研究主題進行探討。符合學生程度，並可培養學生探究能力。