

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高級中等學校組 工程學科(二)科

052405

醜小「壓」發電-壓電材料發電之探討

學校名稱：國立中科實驗高級中學

作者： 高二 黃煥睿 高二 周心妮 高二 陳建佑	指導老師： 何家齊 陳思佑
---	-----------------------------

關鍵詞：壓電效應、鋅鈦酸鉛、自製下壓裝置

摘要

本研究利用壓電材料—鋇鈦酸鉛來模擬並找出最佳的發電條件。當施予壓電片應力時，會由於形變而產生電極化的現象，進而產生電。

實驗中首先探討低落高度與液體種類對壓電片因形變產生電壓之影響，經數據顯示，當液體落下產生的表面積越大時，所產生的電壓越大。在滴定液體時發現數據的標準差很大，改用螺旋測微器測量(固定施力位置與大小)後，得到施力位置的不同也會影響電壓大小的結果。

我們試著研究出能夠改變下壓頻率的裝置，檢測連續給予應力能否使壓電材質產生的電有加成的效果，再利用數種不同方法實驗後得到結果，於實驗五中，發現馬達轉速在 52 rev/s 及 54 rev/s 時產生的電最多，表示在此頻率時，下壓頻率與壓電材料伸縮的頻率相同。

壹、研究動機

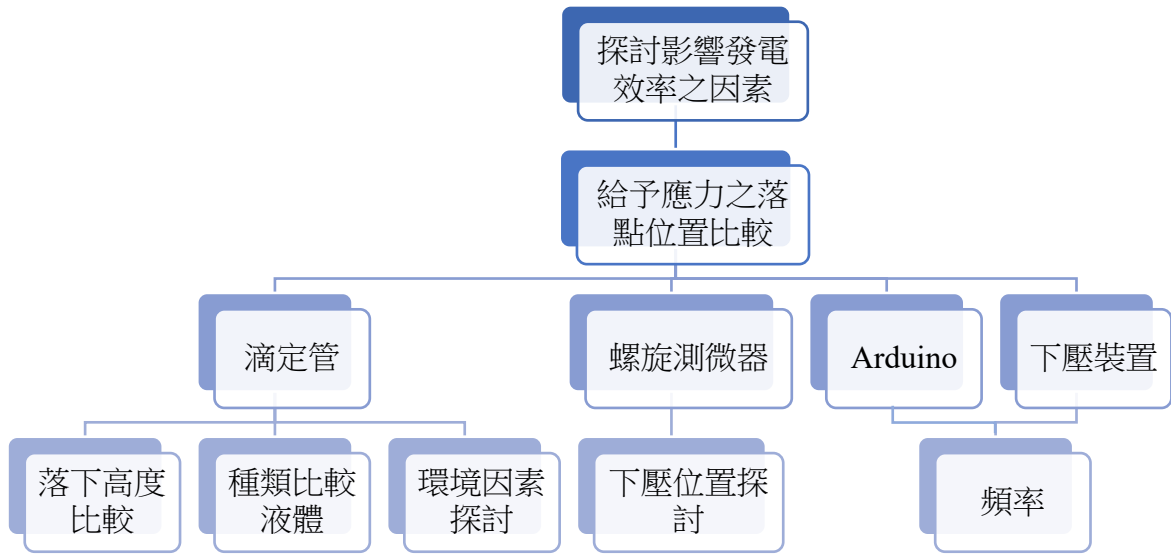
生活在擁有全世界第二大燃煤火力發電廠，同時也是台灣發電量最大的發電廠、二氧化碳排放量為世界各發電廠首位的台中，面對總是霧茫茫的空氣，PM2.5 是一項待解決、極為重要的課題，因此需要能完整替代火力發電的綠色能源，雖然已有許多人致力於開發新環保能源，但還是有許多尚待研究的區塊。利用壓電材料發電就是一項例子，壓電材料可以廣泛例用於日常生活中：地板、輪胎、鞋子等都有實際的例子，甚至有人利用壓電材料結合衣服發電，引發了我們對壓電材料的興趣，因此促成了這項研究。

貳、研究目的

一、研究方法：

透過從網路上查詢文獻、並分析，以及尋找學校老師和大學教授的協助，並且設計實驗器材、構想實驗步驟，之後再和組員討論及分析，以完成此次論文。

二、研究架構：



圖(一)：研究架構

(圖一資料來源：研究者自繪)

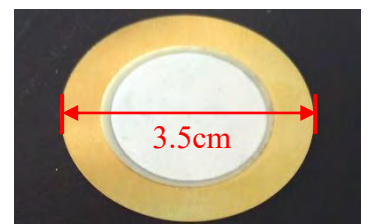
參、研究設備及器材

一、設備

示波器、直流電源供應器、三用電表、雷射切割機、SV-200 3D 印表機、Arduino UNO、L298n 步進馬達控制器、NEMA17。

二、器材

滴定管、螺旋測微器、蒸餾水、飽和食鹽水、丙酮、壓電片(PZT)、丁酮、AB 膠、杜邦線、木頭、PLA 線材、18650 充電電池(3V 3400mA)

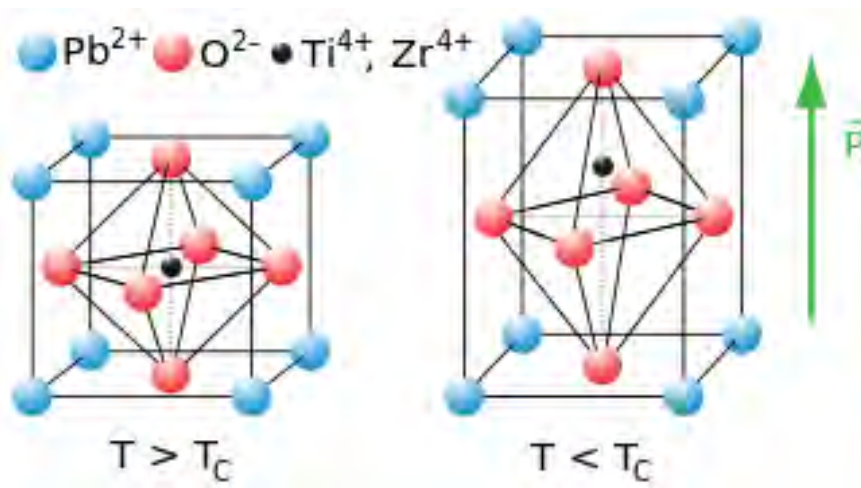


圖(二)：壓電片

肆、研究過程或方法

一、壓電效應原理

壓電片為鉛鈦酸鉛(Lead Zirconate Titanate, PZT)製成，鉛鈦酸鉛是一種壓電材料，當施予一個外力於壓電片上時，材料體內之電偶極矩會因壓縮而變短，此時壓電材料為了抵抗這種變化會在材料相對的表面上產生等量正負電荷，即會有電子流過壓電材料產生電，使壓電材料得以保持原狀。這種由於形變而產生電極化的現象稱為「正壓電效應」。



圖(三)：研究架構

(圖三資料來源：維基百科。2016年9月11日，取自

https://en.wikipedia.org/wiki/Lead_zirconate_titanate)

二、 實驗方法：

實驗一：探討高度、液體種類對壓電片的電壓值產生大小的影響

使用 4 種不同液體，分別是蒸餾水($\text{H}_2\text{O}_{(l)}$)、飽和食鹽水($\text{NaCl}_{(aq)}$)、丙酮($\text{CH}_3\text{COCH}_3_{(l)}$)、丁酮($\text{CH}_3\text{COC}_2\text{H}_5_{(l)}$)，利用滴定管滴定液體於壓電片上，並利用不同的高度及滴定多次，以進行電壓大小測量。

實驗二：探討環境因素

利用外面罩上寶特瓶，檢測溫度、風等等對電壓的影響。

實驗三：探討下壓位置

利用螺旋測微器，透過改變不同的下壓深度，以及固定下壓的位置並利用瞬間鬆開螺旋測微器時所產生的電壓，來觀察電壓的大小的變化。

實驗四：利用 Arduino 結合步進馬達探討壓電材質的頻率性

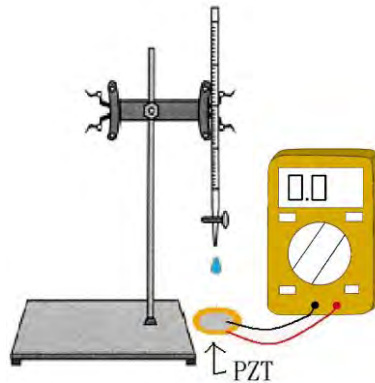
利用 Arduino 結合步進馬達，來觀察壓電片所產生的電，能否在特定的下壓頻率時，使電擁有加成的效果，從而產生更多的電能。

實驗五：利用直流電源供應器結合碳刷馬達探討壓電材質的頻率性

在相同下壓深度的條件下，利用自製可控制下壓頻率的裝置，來觀察壓電片所產生的電，能否在特定的下壓頻率時，使電擁有加成的效果，從而產生更多的電能。

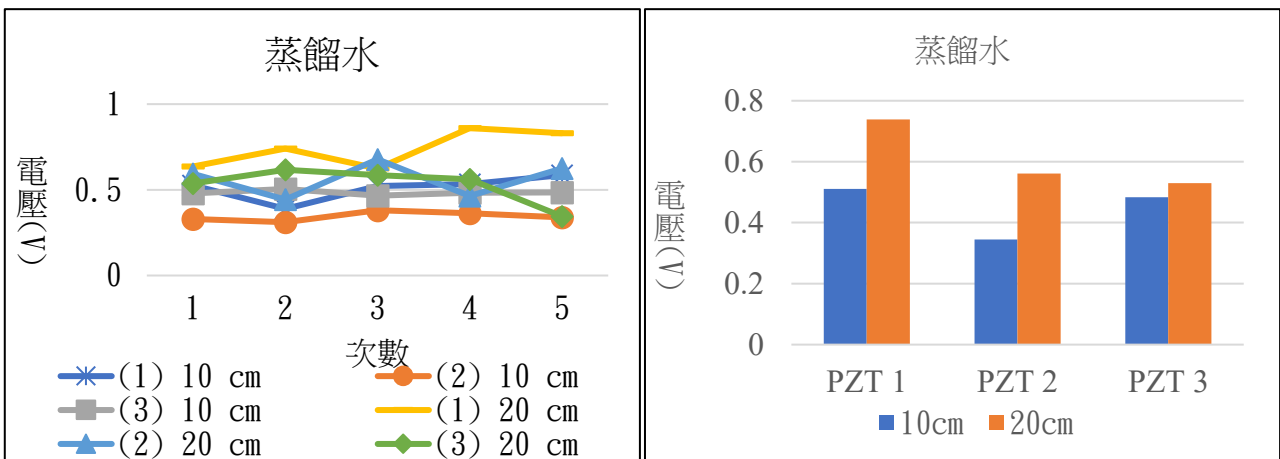
伍、 研究結果

實驗一：如圖(四)藉由不同的液體滴定，測量高度對電壓大小的影響。

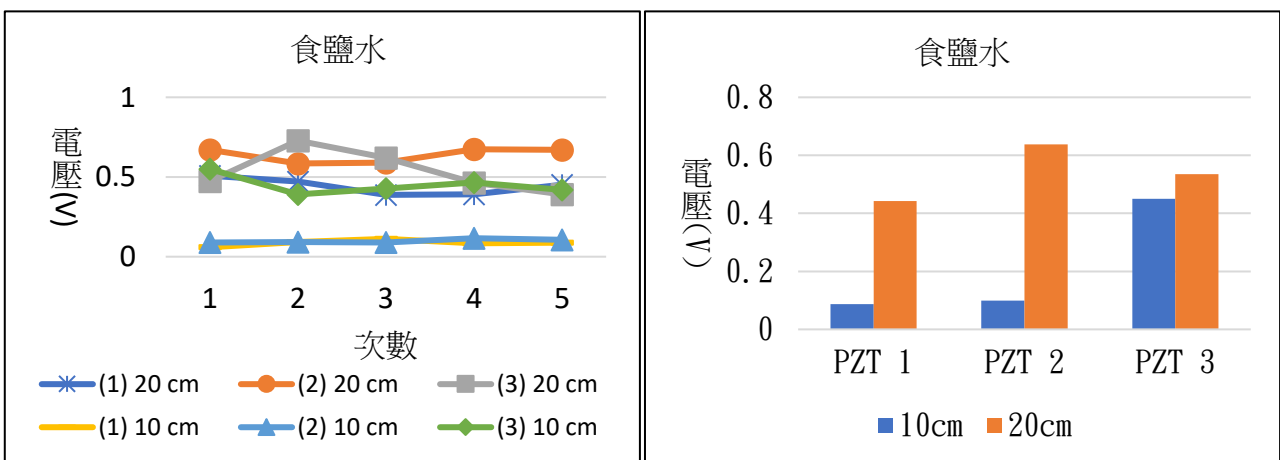


圖(四)

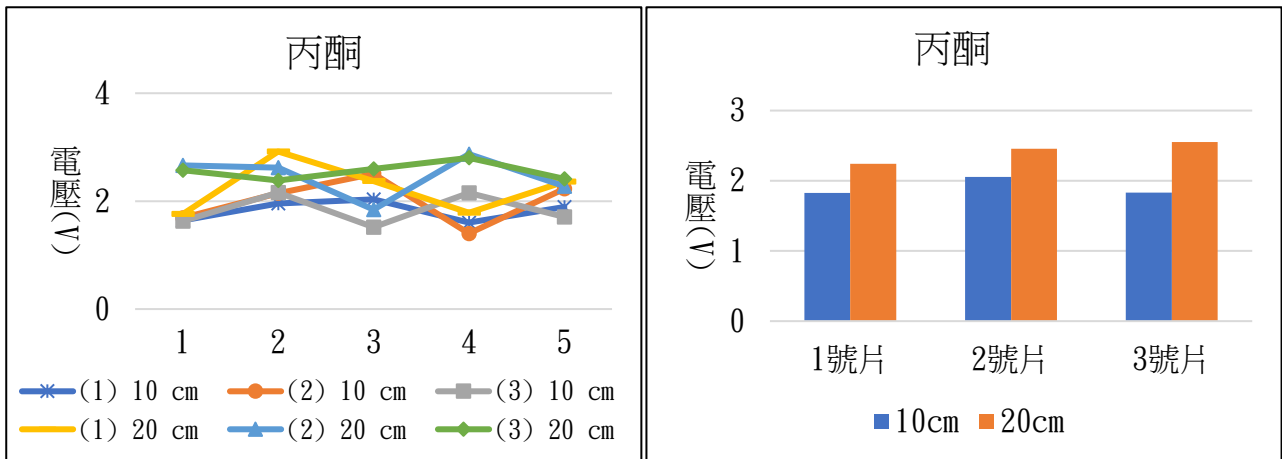
(參考資料：研究者自繪)



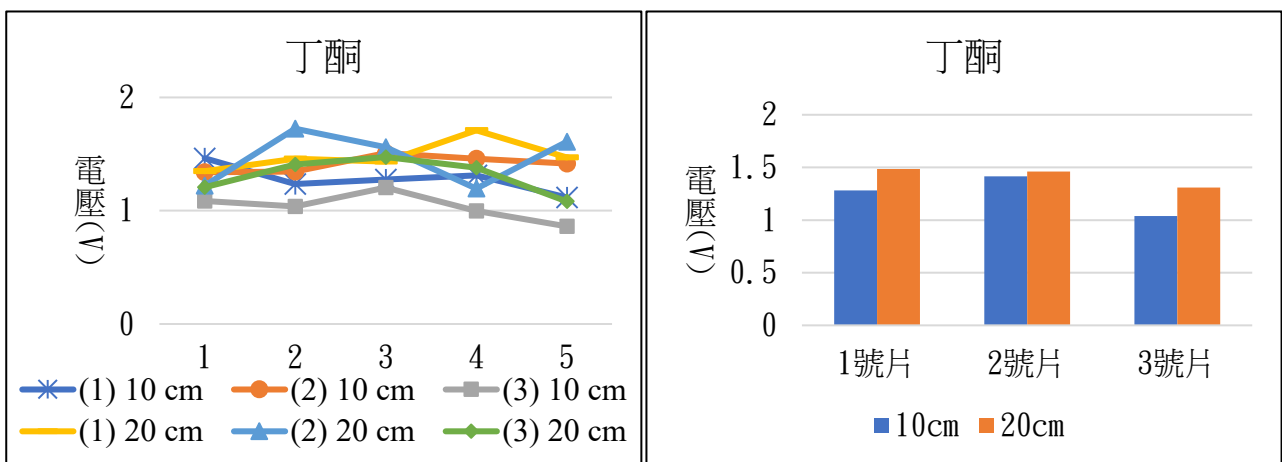
圖(五)：滴定蒸餾水時，測量高度對電壓的影響



圖(六)：滴定食鹽水時，測量高度對電壓的影響



圖(七)：滴定丙酮時，測量高度對電壓的影響



圖(八)：滴定丁酮時，測量高度對電壓的影響

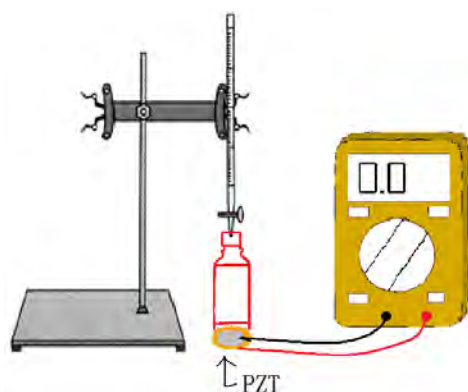
從圖五到圖八，控制不同的液體相同高度下，發現蒸餾水在 1 號片 10cm 時產生的電壓大於 1 號片 20cm，所以我們推測液體從越高的高度落下所造成的形變較大，所以產生較大電壓。

表(一)：根據實驗一，各液體在不同高度落下時，所產生電壓大小平均之比較

	液體 高度(cm)	蒸餾水(V)	食鹽水(V)	丙酮(V)	丁酮(V)
	1 號片	10cm	0.5112	0.0868	1.8246
20cm		0.7382	0.4420	2.2394	1.4844
2 號片	10cm	0.3450	0.0988	2.0534	1.4138
	20cm	0.5608	0.6382	2.4546	1.4622
3 號片	10cm	0.4834	0.4506	1.8328	1.0382
	20cm	0.5392	0.5252	2.5536	1.3102

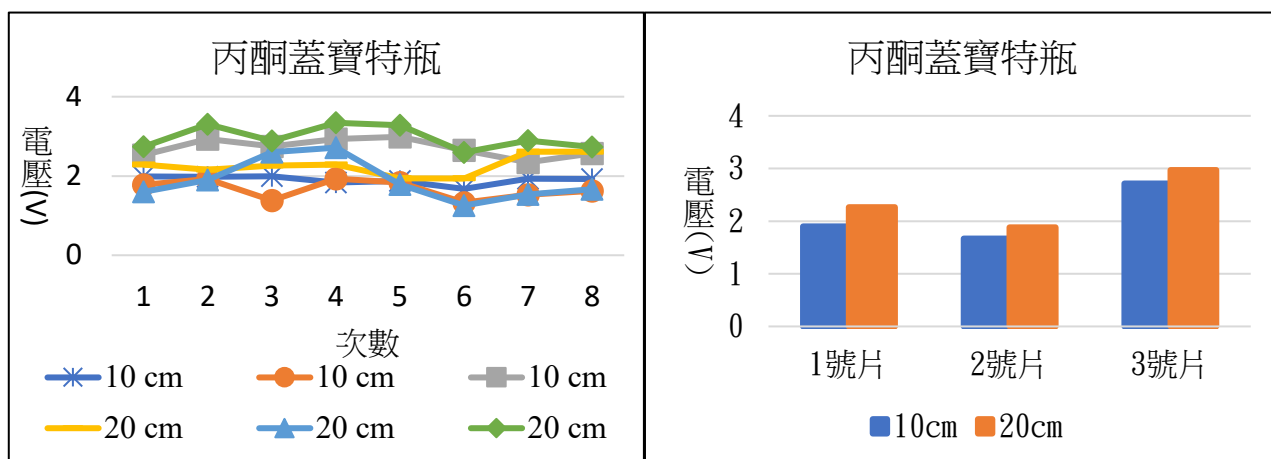
在表一中，我們發現電壓產生大小的值為：丙酮>丁酮>蒸餾水>食鹽水，所以我們推測當液體自滴定管中落下到壓電片時產生的面積較大，對壓電片產生較大的形變，亦產生較大的電壓。

實驗二：因為在實驗一中觀察到丙酮產生的電壓最大，因此我們決定在實驗二中採用丙酮做測量，蓋上寶特瓶後，檢測環境因素是否會影響電壓的產生。



圖(九)

(資料來源：研究者自繪)



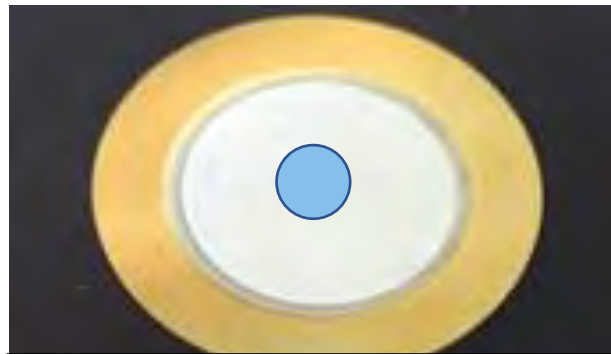
圖(十)：滴定丙酮時，於外側蓋上寶特瓶，測量高度對電壓的影響

在圖十中，我們發現圖中的數據跟實驗一中圖五到圖八中相同，都有很大的標準差，所以我們推測環境因素並不會影響電壓大小的產生

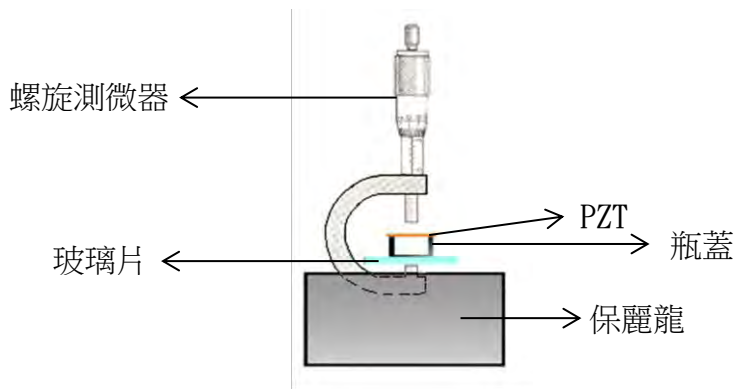
實驗三：因為在實驗一及實驗二中，我們發現液體自滴定管落下在壓電片上的位置不盡相同，如圖十一，所以我們透過螺旋測微器固定下壓位置，如圖十二，測量給予應力之位置對電壓值離散程度的影響。



圖(十一)：液體滴落時的落點可能位置

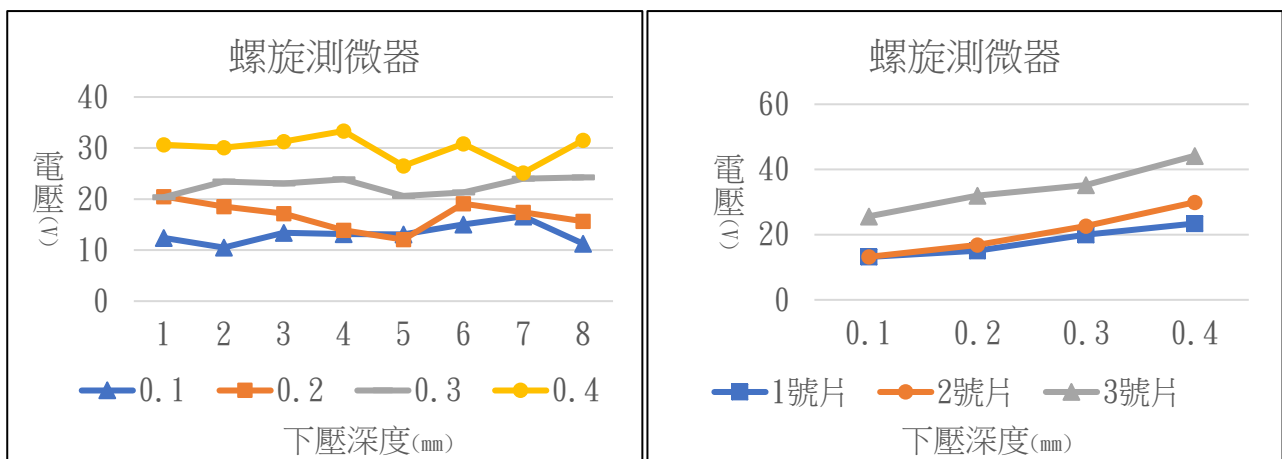


圖(十二)：螺旋測微器下壓落點的位置



圖(十三)

(資料來源：研究者自繪)

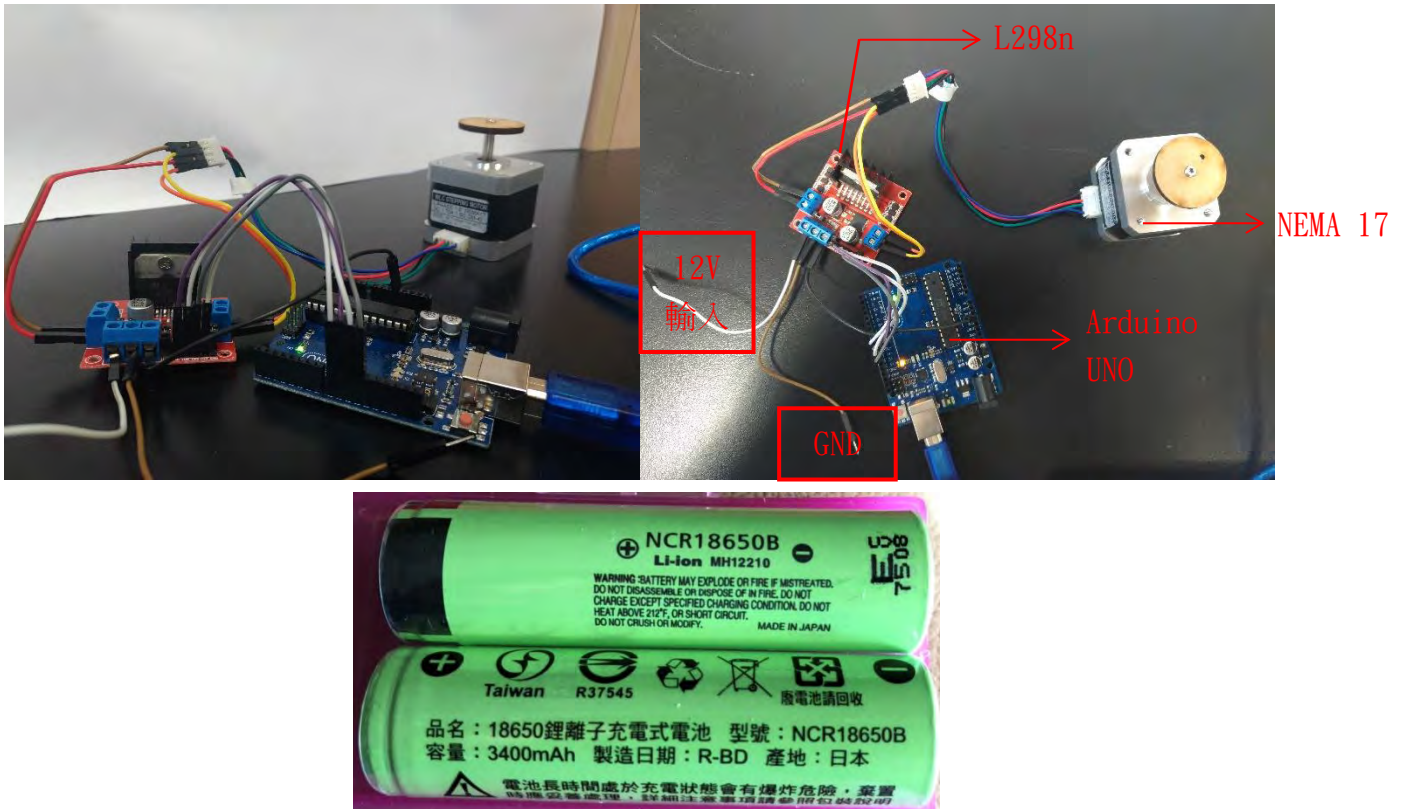


圖(十四)：利用螺旋測微器瞬間施放的能量，測量下壓深度對電壓的大小影響

在圖十四中，我們觀察到給予應力位置的不同，會影響其電壓值的離散程度。

實驗四：在實驗三中我們已經可以控制下壓深度，在實驗四中我們想要觀察不同的下壓頻率能否讓電壓的大小有所不同。因此我們利用 Arduino 結合步進馬達來，來觀察壓電片所產生的電，能否在特定的下壓頻率時，使電擁有加成的效果，從而產生更多的電能。

我們想控制步進馬達的轉速來改變下壓的頻率，所以我們想到可以利用 Arduino 協助控制步進馬達的轉速，故設計了以下實驗器材。



圖(十五)：利用 Arduino 結合步進馬達並且串聯 4 顆 18650 電池，加強扭力，來改變馬達轉速
(資料來源：研究者自繪)

§實驗中的程式撰寫

```
#include <Stepper.h>

const int stepsPerRevolution = 200;

// initialize the stepper library on pins 8 through 11:
Stepper myStepper(stepsPerRevolution, 8, 9, 10, 11);

int stepCount = 0;

void setup() {

}

void loop() {

    int sensorReading = analogRead(A0);

    int motorSpeed = map(sensorReading, 0, 1023, 0, 100);

    if (motorSpeed > 0) {
        myStepper.setSpeed(motorSpeed);

        myStepper.step(stepsPerRevolution / 100);
    }
}
```

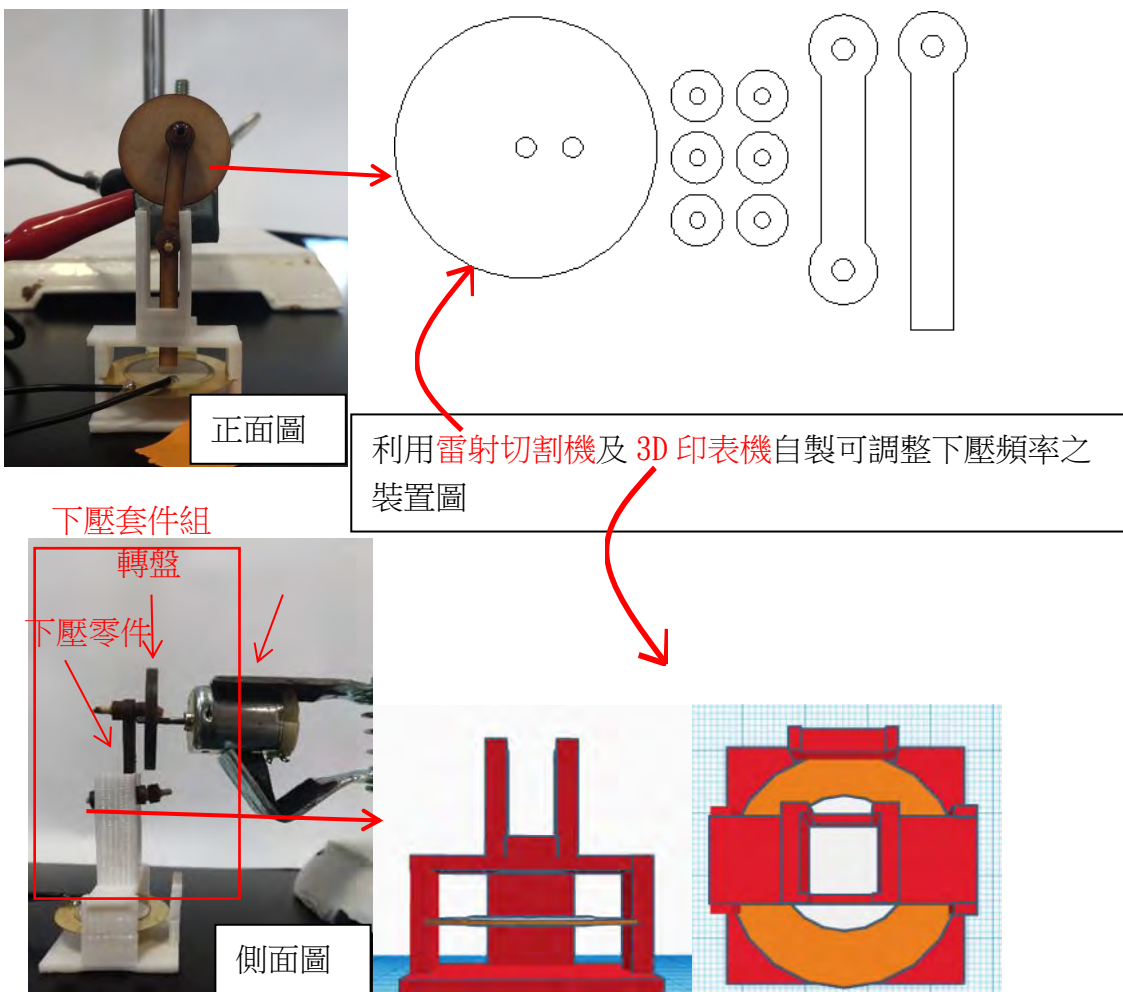
可是後來我們發現步進馬達的轉速太慢，無法超越壓電材料恢復的速度，所以達不到讓電加成的效果，因此我們放棄了此種方法，改為直接使用直流電源供應器來改變馬達的轉速。

實驗五：在相同下壓深度的條件下，利用自製可控制下壓頻率的裝置，來觀察壓電片所產生的電能否在特定的頻率時擁有加成的效果，進而產生更多的電。

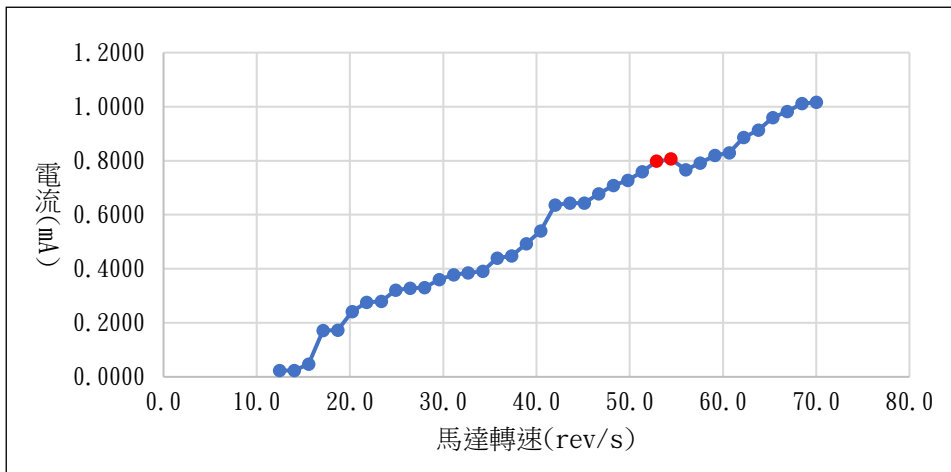


圖(十六)實驗四實驗圖

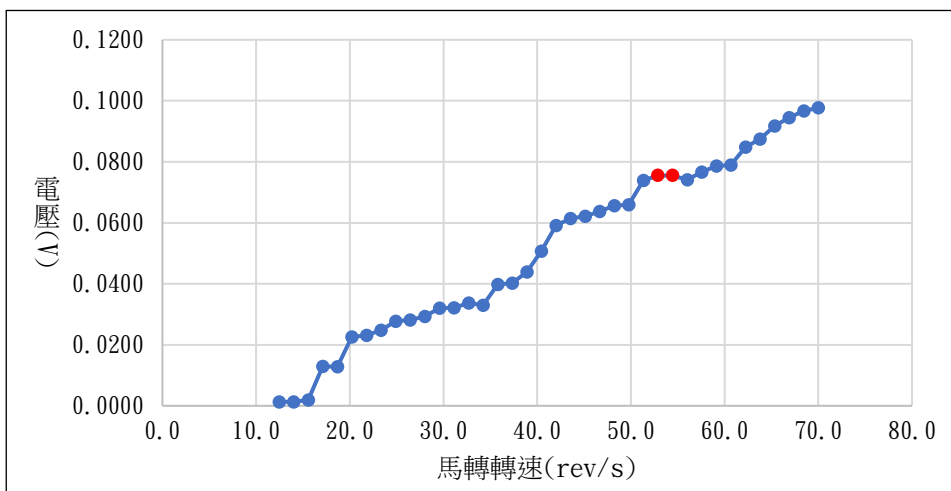
(資料來源：研究者自攝)



圖(十七)：下壓套件組說明



圖(十八)：利用自製可控制下壓頻率之裝置，觀察不同轉速對壓電片產生的電流之影響



圖(十九)：利用自製可控制下壓頻率之裝置，觀察不同轉速對壓電片產生的電壓之影響

由圖十八及圖十九中，我們觀察到當轉速在 52 及 54 rev/s 時所產生的電流及電壓明顯大於之後 57 rev/s 時所產生的值。

陸、討論

一、 實驗一：藉由不同的液體滴定，測量高度對電壓大小的影響。

(一) 壓電效應是透過施予應力以產生電壓，而應力來自於位能(U)、又 $U=mgh$ ，且重量(m)及重力加速度(g)為定值，因較高的高度能擁有較大的位能，因此合理地推斷高度較高的液體落下能產生較大的應力進而產生較大的電壓，亦符合我們實驗觀察結果，故設計圖四的實驗。

(二) 在表一中我們可以發現在 1 號片 20cm 落下時產生的 2.2394V 大於從 10cm 落下的 1.8246V，所以我們推測越高落下的液體可以對壓電片產生的較大的形變，所以推測從越高落下的液體能產生較大的電。

(三) 在表一中我們也可以發現各不同液體中，電壓產生大小的順序為：丙酮>丁酮>蒸餾水>食鹽水，我們推測是因為丙酮在從滴定管落下時散落產生的面積較大，所以對壓電片造成的形變較大，故產生較大的電壓。

(四) 由圖五到八，觀察到每次電壓值的標準差都很大，因此推論可能是環境的因素影響到其產生的電壓值，故我們設計實驗二在外側蓋上寶特瓶，減少環境因素的影響。

二、 實驗二：蓋上寶特瓶後，檢測環境因素是否會影響電壓的產生。

由圖十可知，因為壓電值得標準差並無因此而減小，所以環境因素對於電壓的產生，並無太大的影響。

三、 實驗三：透過螺旋測微器固定下壓位置，測量給予應力之位置對於電壓值離散程度的影響。

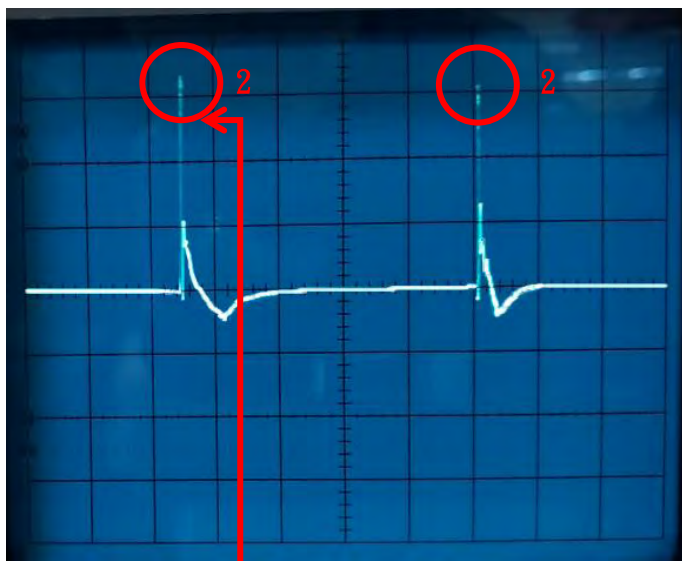
因為由實驗二得知，環境因素對於電壓產生的影響並不大，因此推論可能是從滴定管落下時，各落點位置不同的差異，造成此結果，故由圖十四可知，先前造成電壓值起伏不定的原因是給予應力位置的不同，並非環境所造成的影響。

四、 實驗四：利用 Arduino 結合步進馬達來，來觀察壓電片所產生的電，能否在特定的下壓頻率時，使電擁有加成的效果，從而產生更多的電能。

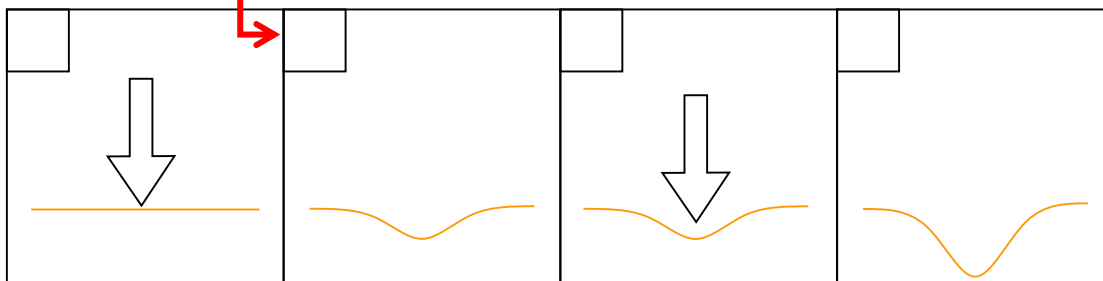
但是在實驗中，我們發現因為步進馬達的轉速不夠快，無法達到與壓電材料伸縮時的頻率相同(即無法使壓電材片產生的電擁有加成性)，因此我們想到利用直流電源供應器改變碳刷馬達的轉速。

五、 實驗五：在相同下壓深度的條件下，利用自製可控制下壓頻率的裝置，來觀察壓電片所產生的電能否在特定的頻率時擁有加成的效果，進而產生更多的電。

(一) 根據文獻中所述，壓電材質具有彈簧一般的性質，因此我們就設想了一個實驗，如圖二十中所示，若是在壓電材質伸縮到最低點時，再下壓一次、使壓電材質的振幅增加，就能讓壓電材料產生更多的電。



圖(二十)： 下壓一次時，示波器中電壓波形改變之情形



圖(二十一)：利用自製可控制下壓頻率之裝置對壓電材料特性之探討

(二)由圖二十一中可得壓電材料在下壓一次之後會有像彈簧一樣的特性，下壓到最高點時，會向上彈高過於原點，之後再回到原點(如同圖二十中，電壓的波型上升至最高點之後，會低過於原點，之後再回過原點)，所以我們就推測如果下壓裝置的頻率與壓電材料伸縮的頻率相同，則可能使電的產生擁有加成性。由圖十八及圖十九中，我們觀察到當轉速在 52 及 54 rev/s 時所產生的電流及電壓明顯大於之後 57 rev/s 時所產生的值。

柒、 結論

- 一、 由實驗一得知，從**越高處落下的液體**可以使壓電片產生更大的電壓。
- 二、 由實驗一得知，相同高度下，當**液體落到壓電片的面積越大**，表面張力係數越低可以產生更多的電壓。
- 三、 由實驗二得知，環境因素對電壓的影響較小。
- 四、 為了解決應力位置，我們利用螺旋測微器可控制下壓位置(實驗三)，得到電壓**受應力位置比環境因素種類影響更甚**。
- 五、 除此之外，我們所自製的下壓裝置，可控制下壓頻率(實驗五)，得知馬達在 52 及 54rev/s 時，能產生最大的電。

捌、參考資料

- 一、 Nayan HR(2015), Power Generation Using Piezoelectric Material 4, 1-3. Received April 03, 2015, from <https://www.omicsonline.org/open-access/power-generation-using-piezoelectric-material-2169-0022-1000171.pdf>
- 二、 維基百科。2017年4月4日，取自 https://de.wikipedia.org/wiki/Micro_Piezo
- 三、 Dr. Frode Tyholdt, High Volume Piezoelectric Thin Film Production Process for Microsystems, 6-9
- 四、 Hill, Davion, Nellie Tong, (DNV KEMA). California Energy Commission. Publication Number: CEC-500-2013-007.2013, Assessment of Piezoelectric Materials for Roadway Energy Harvesting, Retrieved April 13, from <http://www.energy.ca.gov/2013publications/CEC-500-2013-007/CEC-500-2013-007.pdf>, P.3-17
- 五、 科學園。2017年6月24日，取自 <http://enjoy.phy.ntnu.edu.tw/mod/resource/view.php?id=18354>
- 六、李隆盛(2013)・焊接實習・新北市：全華。
- 七、傅昭銘 陳義裕(2013) 選修物理・台南市：南一。

【評語】 052405

本作品利用鋇鈦酸鉛壓電材料特性，當施予應力時，因形變產生電極化而產生電的原理，企圖找出最佳的發電條件。整體研究及重點應是對各種外因造成之壓電片變形量的量測與討論。可由施加不同頻率電壓時，壓電片產生最大變形量來決定壓電片之共振頻率。因此壓電片變形量測技術的開發是一未來可以探討之重點。

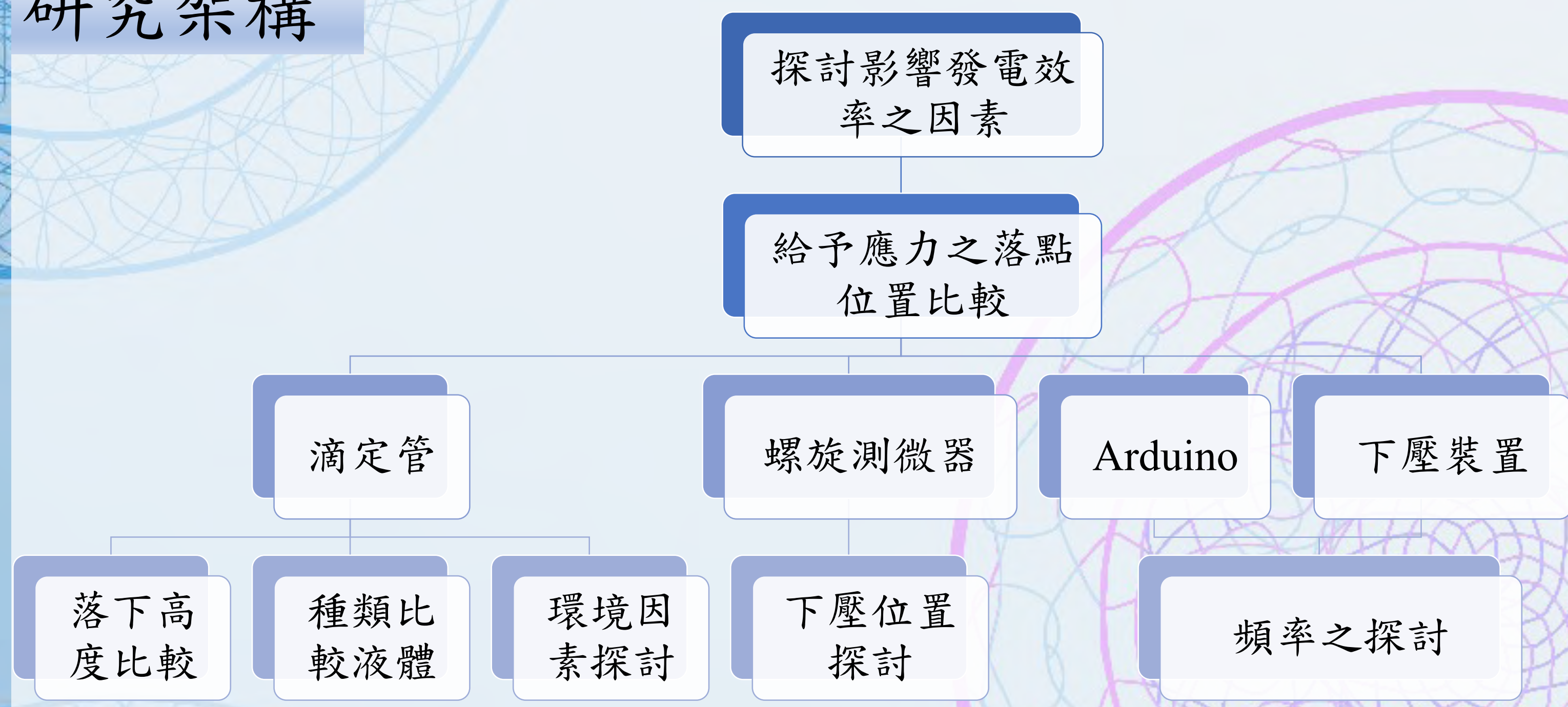
研究動機

家鄉在擁有全世界第二大燃煤火力發電廠，同時也是台灣發電量最大的發電廠、二氧化碳排放量為世界各發電廠首位的台中，面對總是霧茫茫的空氣，PM2.5是一項待解決、極為重要的課題，因此需要能緩衝火力發電的綠色能源，目前各國、各領域都致力於開發新環保能源，或用新素材產生電能，但還是有許多尚待研究的區塊。而德國利用壓電材料發電就是一項例子，壓電材料可以廣泛例用於日常生活中：地板、輪胎、鞋子等都有實際運用的例子，甚至有人利用壓電材料結合衣服發電，引發了我們對壓電材料的興趣，因此促成了這項研究。

研究目的

模擬液體與外力對壓電片形變產生之電流與電壓之影響，實驗設計透過操縱高度、液體種類以及數據的分析計算，並且找出產生最大電壓之最佳條件，以期在未來發明出利用壓電材料發電的綠能裝置。

研究架構



實驗器材

(一) 設備

示波器、直流電源供應器、三用電表、雷射切割機、SV-200 3D印表機、Arduino UNO、L298n步進馬達控制器、步進馬達NEMA17。

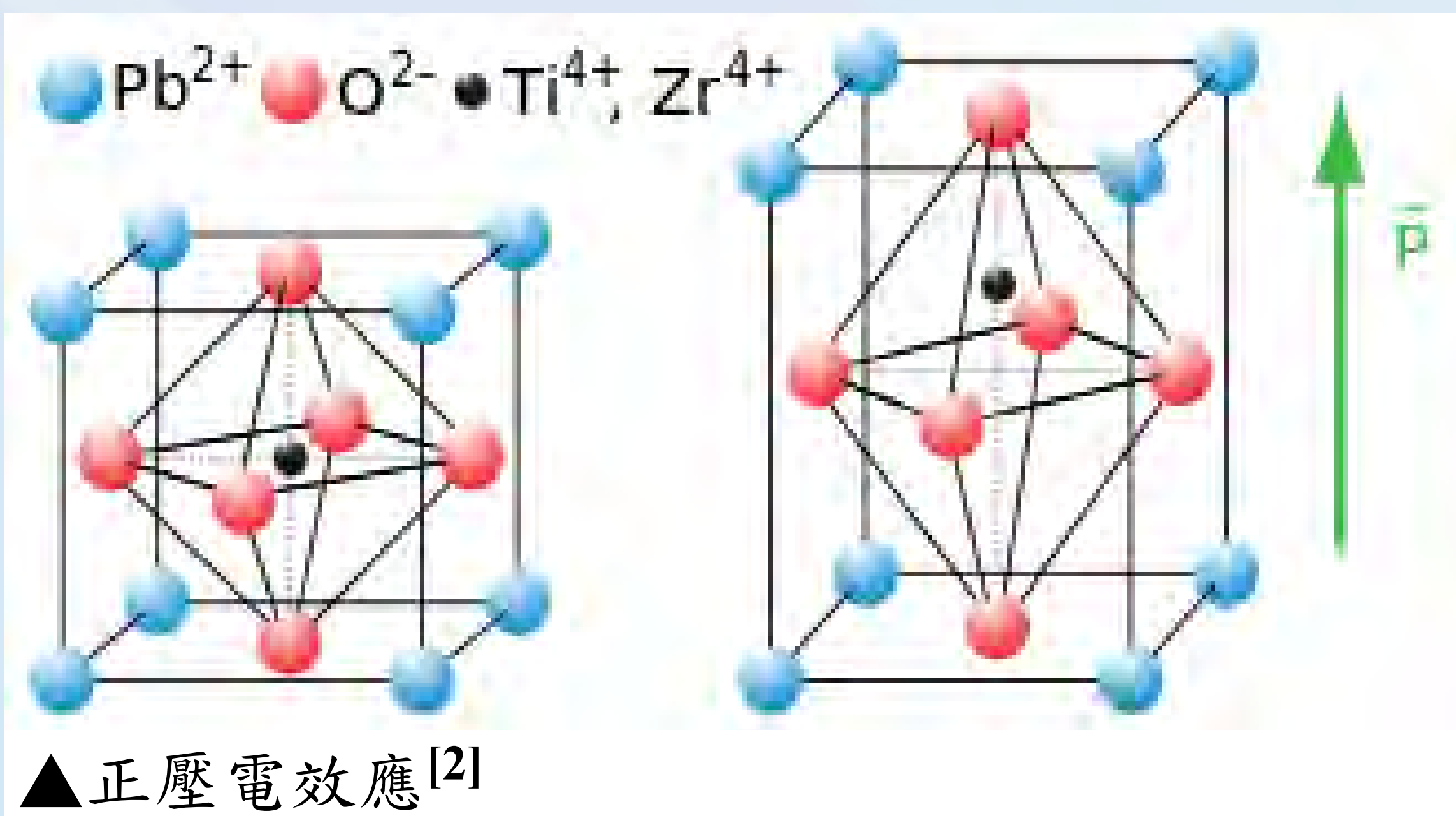
(二) 器材

滴定管、螺旋測微器、蒸餾水、飽和食鹽水、丙酮、丁酮、AB膠、杜邦線、木頭(3mm)、18650 充電電池(3.7V 3400mA)、壓電片(PZT)、PLA線材。



▲壓電片[4]

壓電效應原理



應力施在壓電材料上

電偶極矩縮短

產生相等的正負電荷

電子通過壓電材料

研究方法

實驗一：探討高度、液體種類對壓電片的電壓值產生大小的影響

使用4種不同液體，分別是蒸餾水($H_2O_{(l)}$)、飽和食鹽水($NaCl_{(aq)}$)、丙酮($CH_3COCH_3_{(l)}$)、丁酮($CH_3COC_2H_5_{(l)}$)，利用滴定管滴定液體於壓電片上，並利用不同的液體低落高度所產生不同位能以進行電壓大小測量。

實驗二：探討「螺旋測微器」下壓於壓電片上之位置^{[6][7]}

利用螺旋測微器，透過改變不同的下壓深度，以及固定下壓的位置並利用瞬間鬆開螺旋測微器時所產生的電壓，來觀察電壓的大小的變化。

實驗三：利用Arduino結合步進馬達探討壓電材料伸縮的頻率性^{[1][3]}

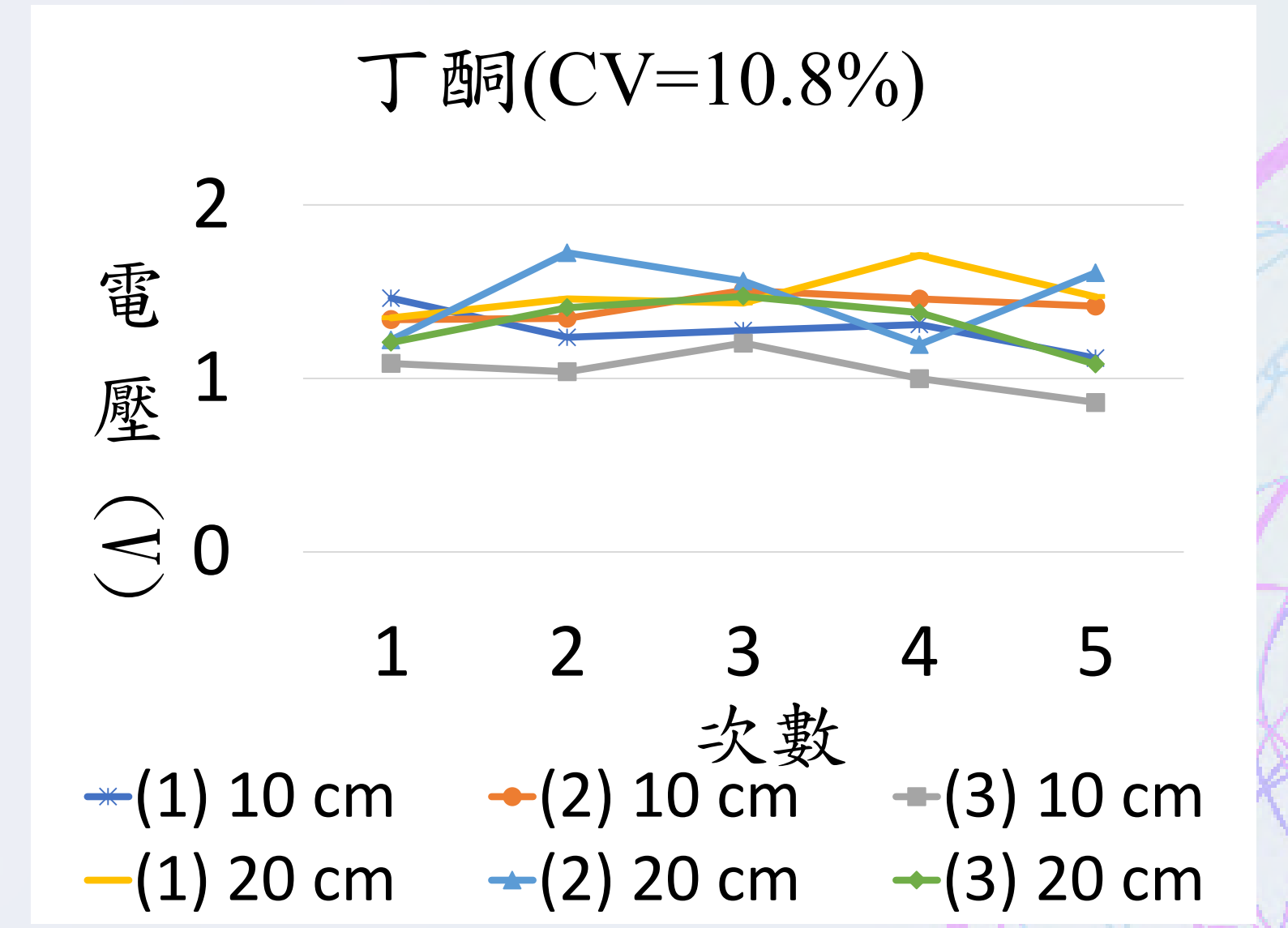
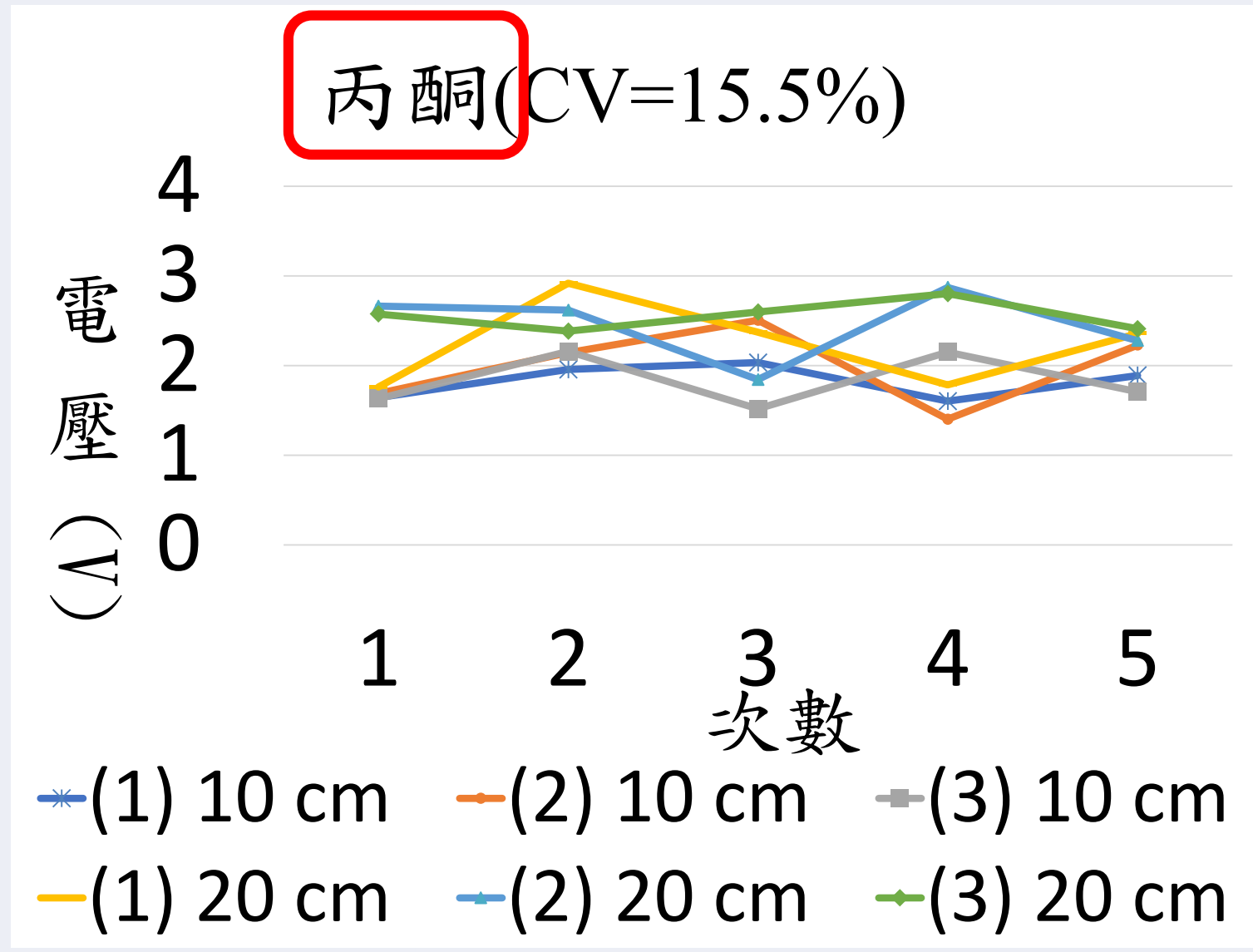
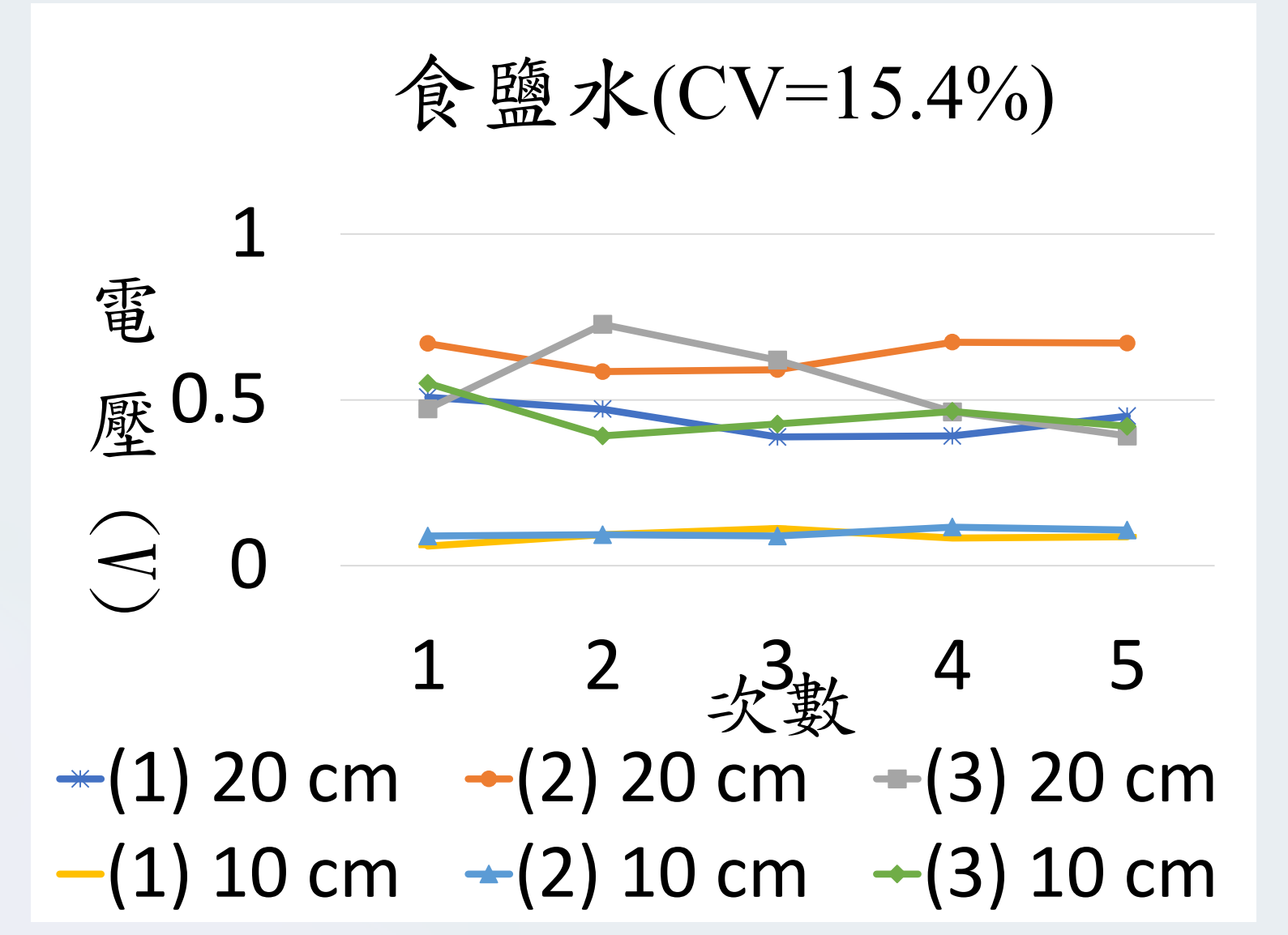
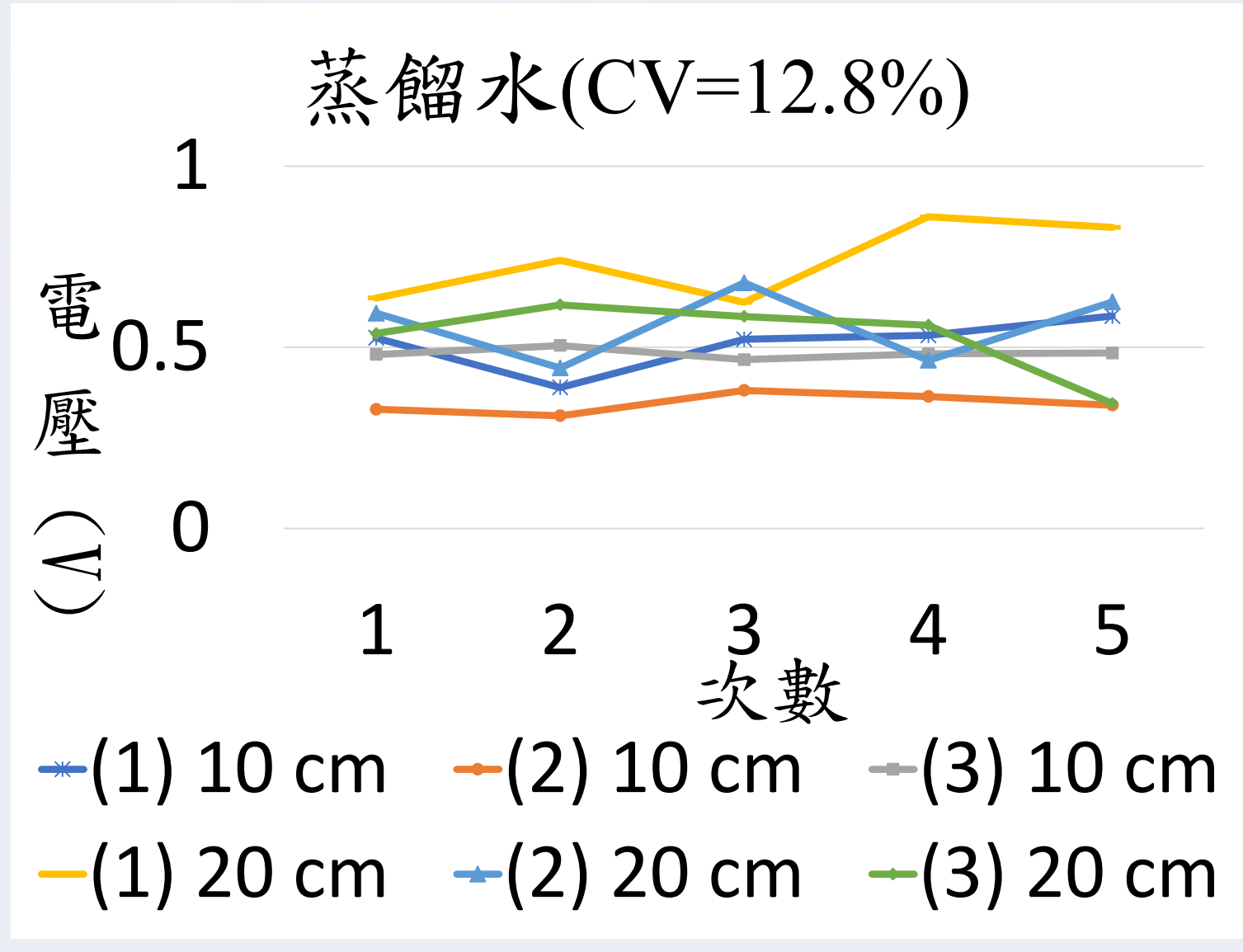
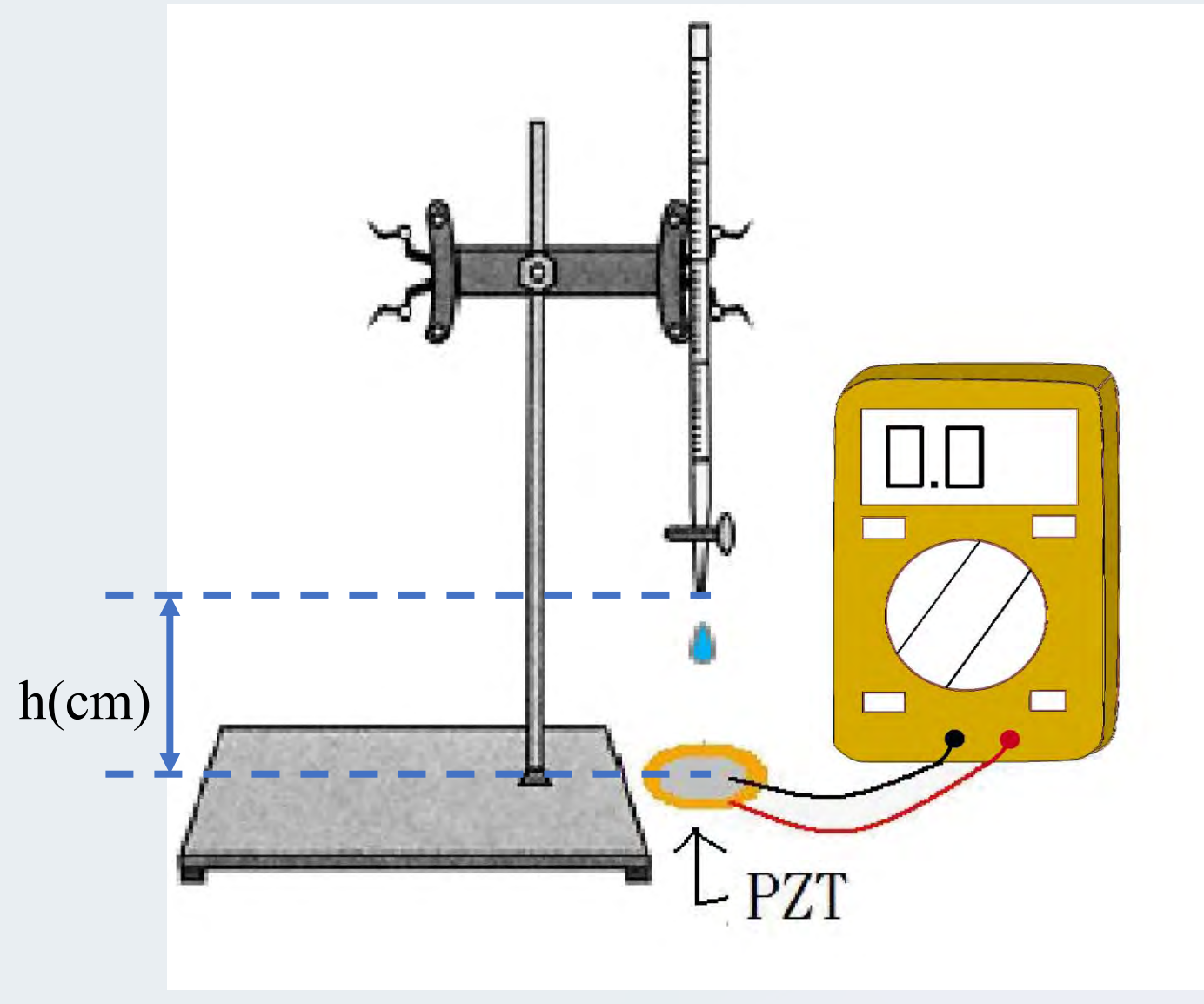
利用Arduino結合步進馬達觀察壓電片所產生的電，偵測是否在特定的下壓頻率時，電流與電壓具有加成之效果，進而產生更多的電流與電壓。

實驗四：利用碳刷馬達結合直流電源供應器探討壓電材料伸縮的頻率性

在相同下壓深度條件下，利用「自製控制下壓頻率裝置」來觀察壓電片所產生的電流與電壓，能否在特定的下壓頻率使電擁有加成的效果，進而產生更多的電流與電壓。

研究結果

實驗一：探討高度、液體種類對壓電片的電壓值產生大小的影響

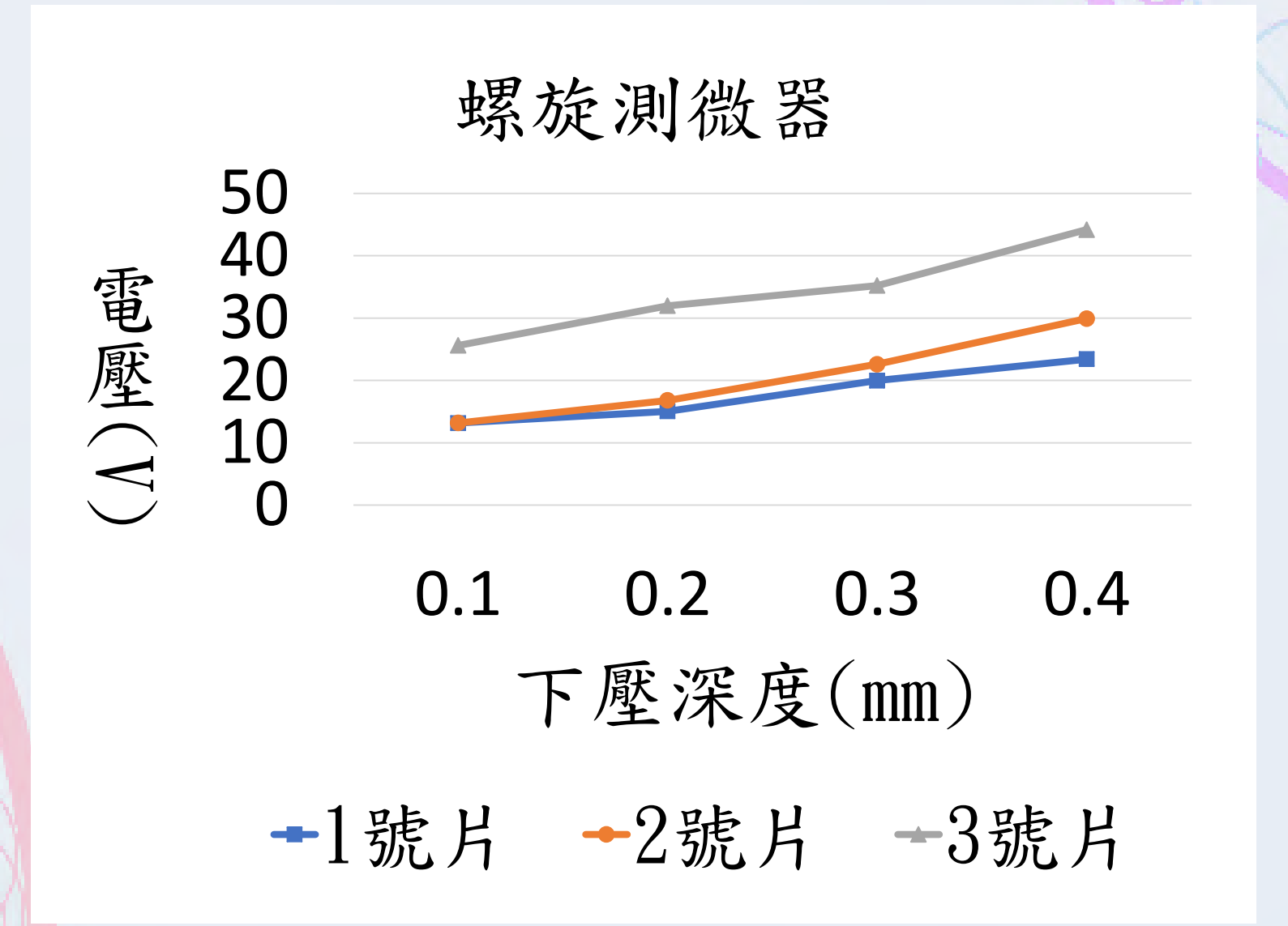
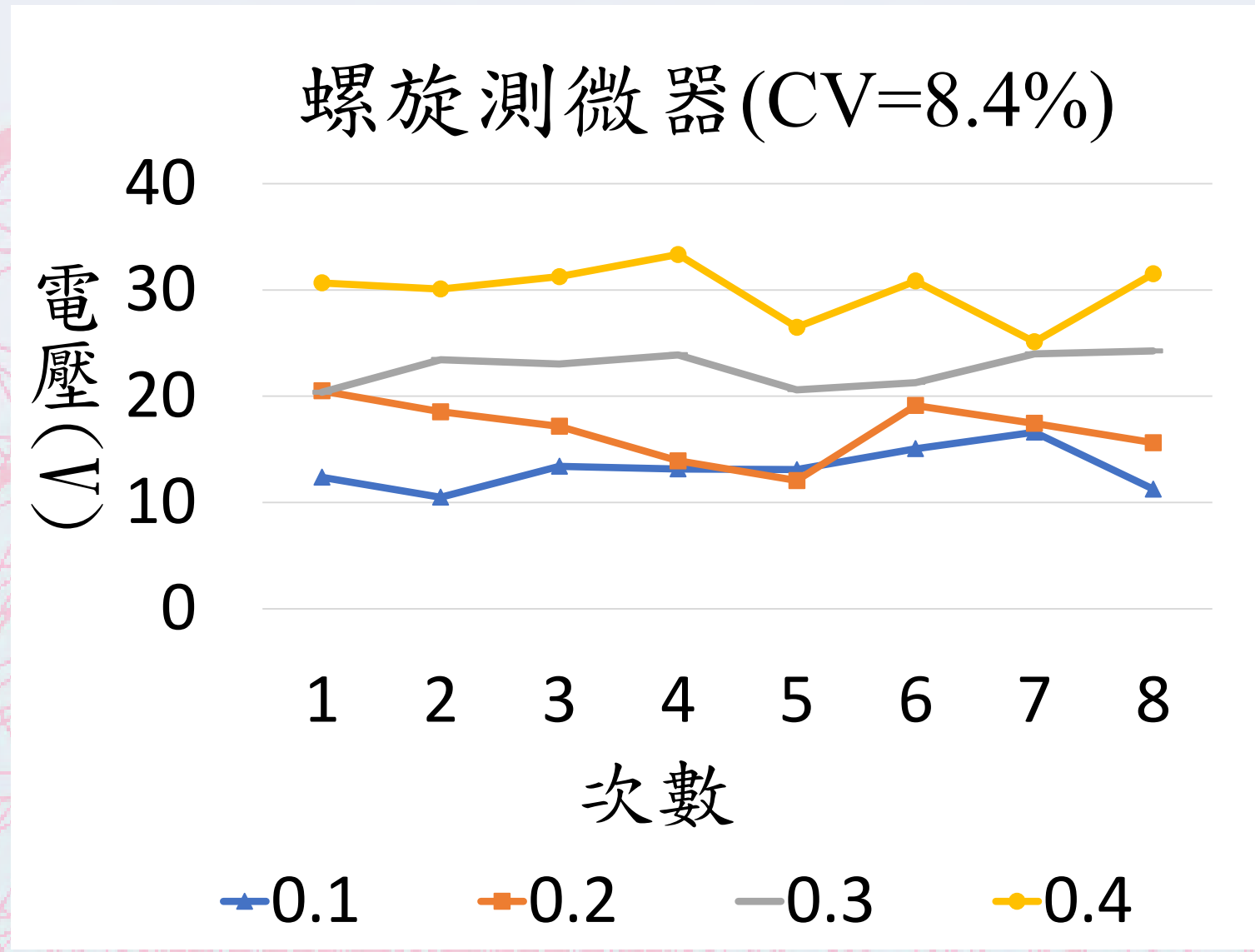
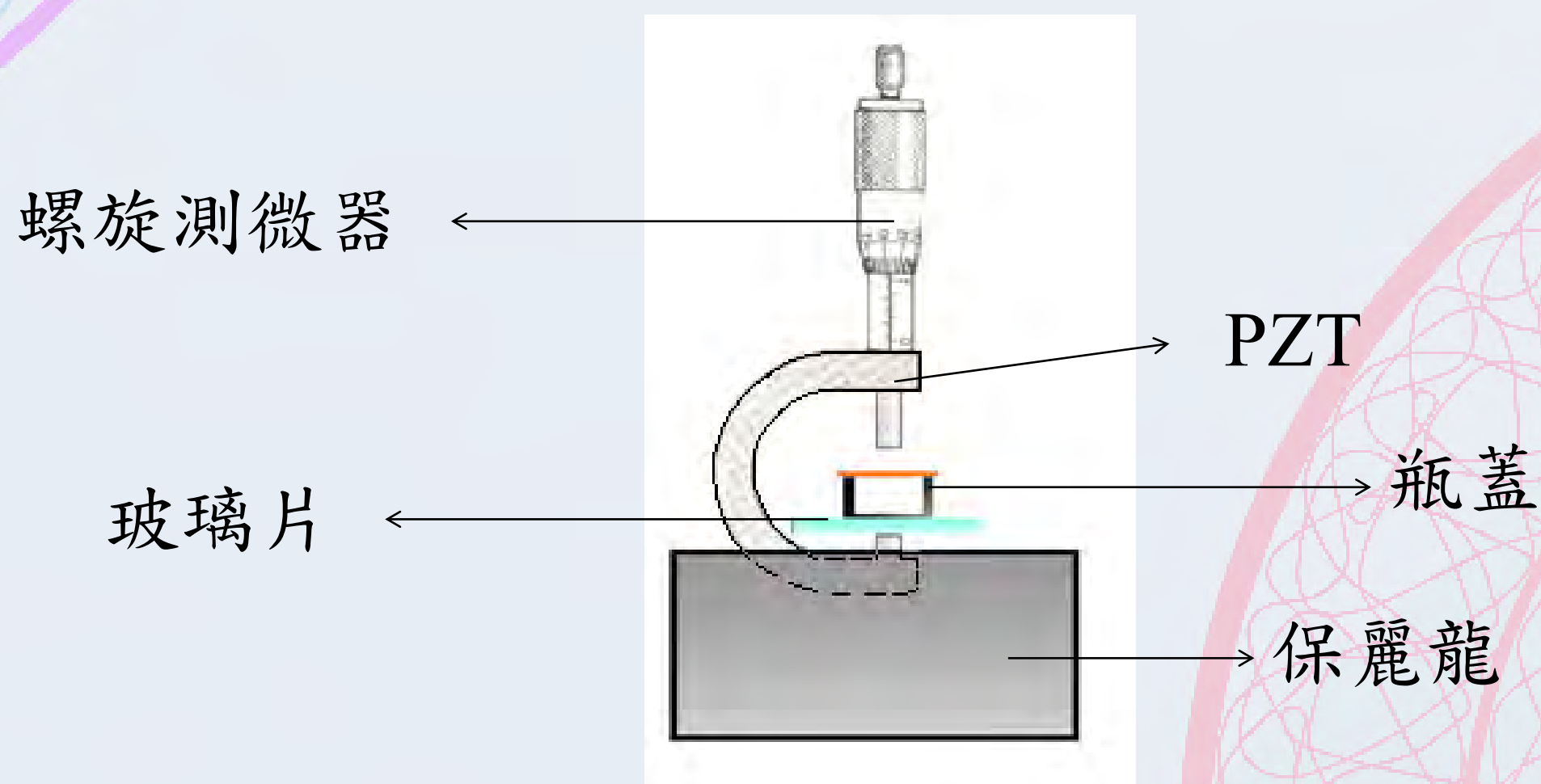


▼表一

	高度 (cm)	蒸餾水(V)	食鹽水(V)	丙酮(V)	丁酮(V)
PZT 1	10cm	0.5112	0.0868	1.8246	1.2808
	20cm	0.7382	0.4420	2.2394	1.4844
PZT 2	10cm	0.3450	0.0988	2.0534	1.4138
	20cm	0.5608	0.6382	2.4546	1.4622
PZT 3	10cm	0.4834	0.4506	1.8328	1.0382
	20cm	0.5392	0.5252	2.5536	1.3102

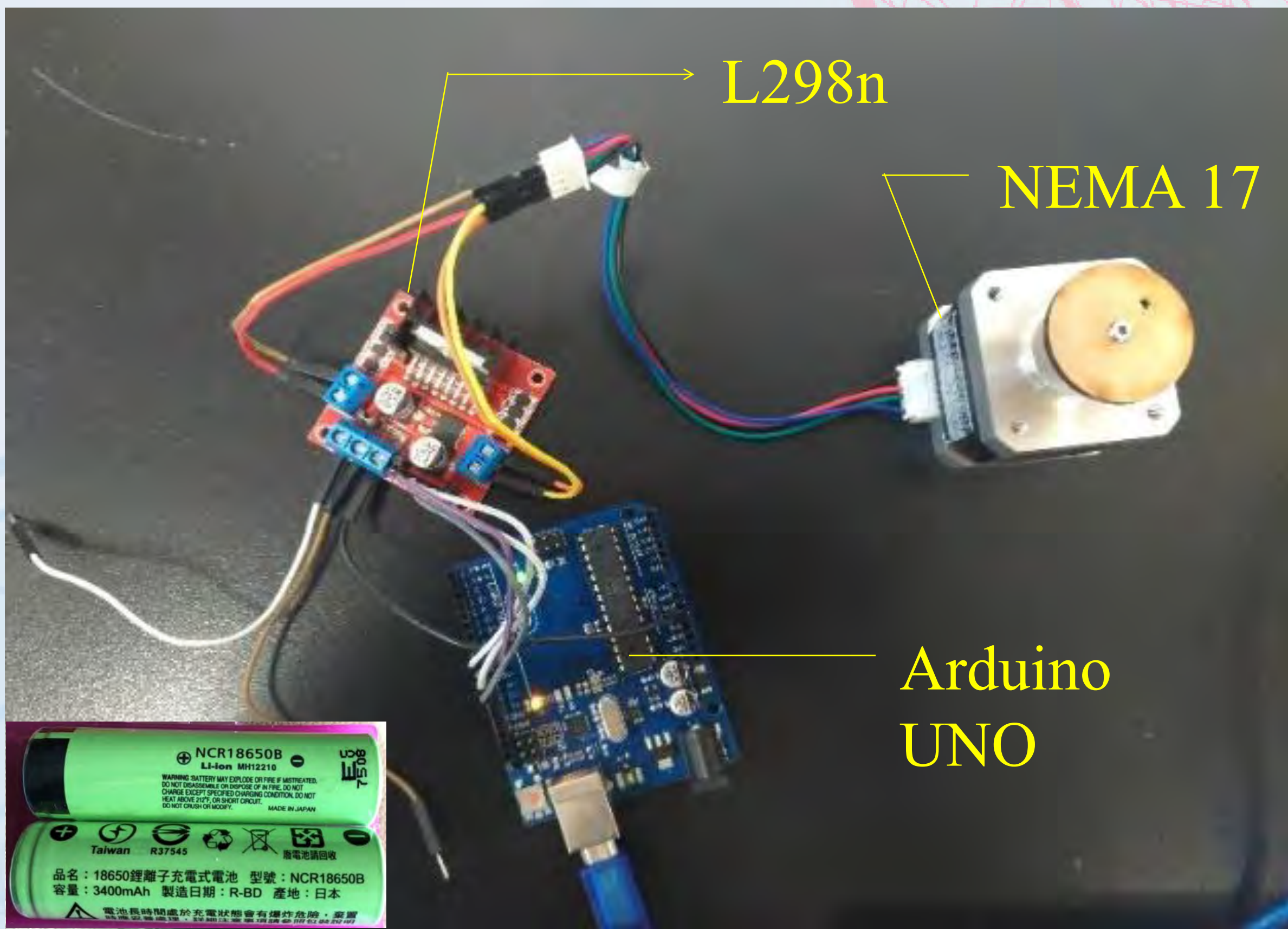
▲圖(一)

實驗二：探討螺旋測微器下壓於壓電片上之位置與下壓深度關係



▲圖(二)

實驗三：利用Arduino結合步進馬達探討壓電材料伸縮的頻率性

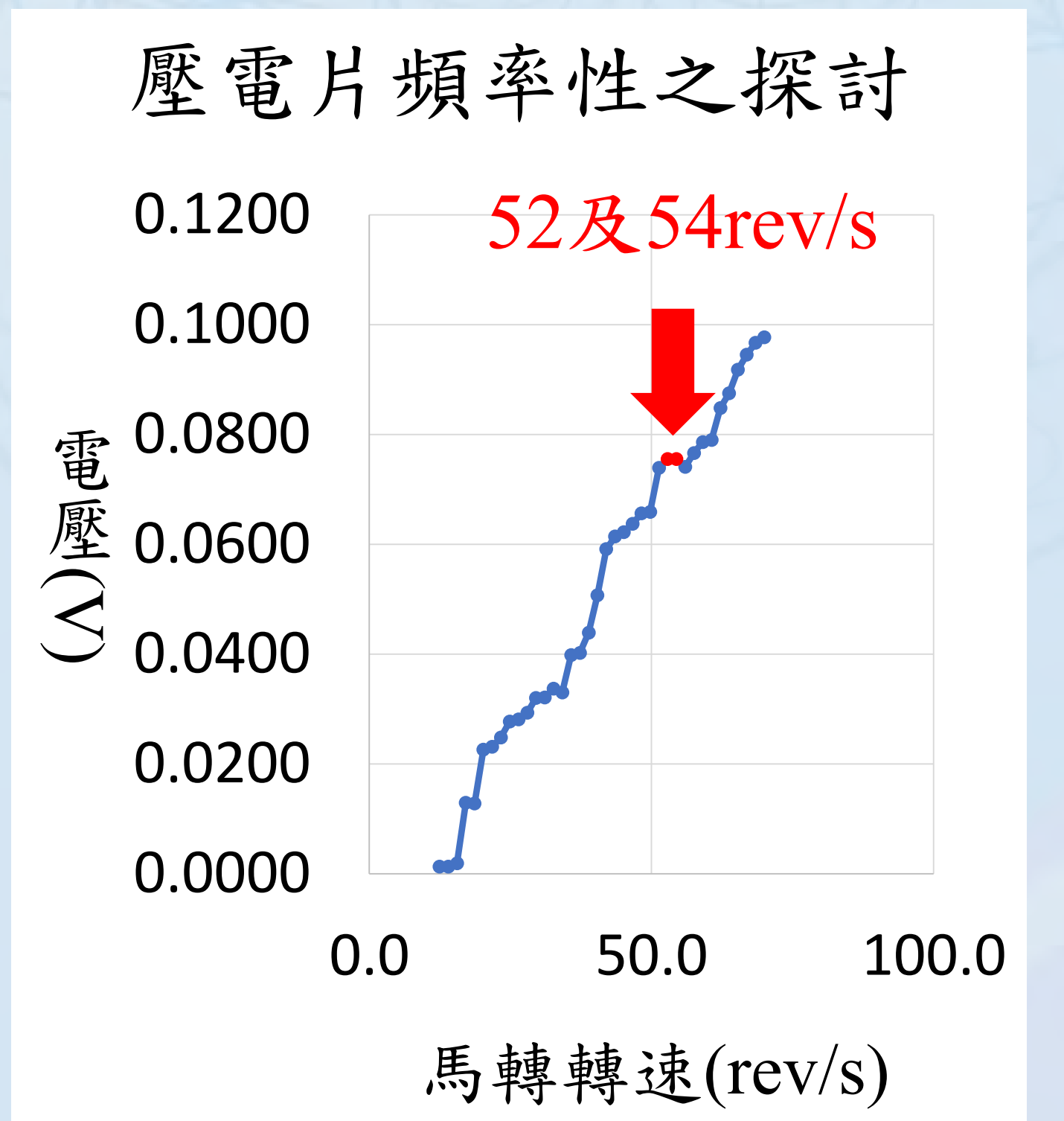
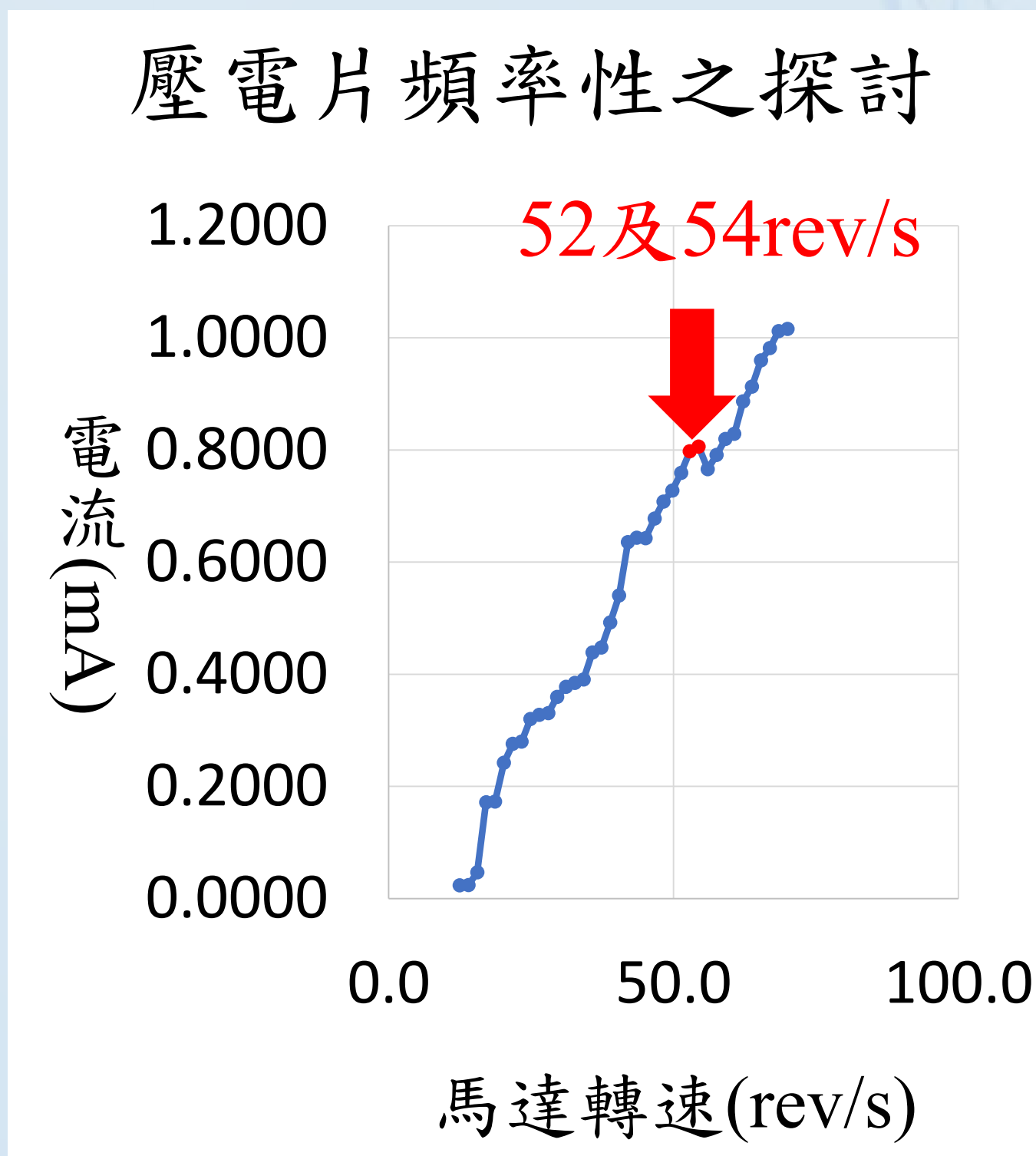


```

$實驗中的程式撰寫
#include <Stepper.h>
const int stepsPerRevolution = 200;
// initialize the stepper library on pins 8 through 11:
Stepper myStepper(stepsPerRevolution, 8, 9, 10, 11);
int stepCount = 0;
void setup() {
}
void loop() {
  int sensorReading = analogRead(A0);
  int motorSpeed = map(sensorReading, 0, 1023, 0, 100);
  if (motorSpeed > 0) {
    myStepper.setSpeed(motorSpeed);
    myStepper.step(stepsPerRevolution / 100);
  }
}
    
```

▲圖(三)：利用Arduino結合步進馬達並且串聯4顆18650電池，加強扭力，來改變馬達轉速

實驗四：利用碳刷馬達結合直流電源供應器探討壓電材料伸縮的頻率性



▲圖(四)

討論

- a. 在表(一)中我們可以發現在1號片高度為20 cm落下時產生的 2.2394V大於從10 cm落下的1.8246V，所以我們推測**越高落下的液體可以對壓電片產生的較大的形變**，所以推測高度差愈大、形變越大，所以產生的電壓越大。
- b. 在表(一)中，我們發現因液體種類對電壓產生大小的值為：**丙酮>丁酮>蒸餾水>食鹽水**，所以我們推測當液體自滴定管中落下到**壓電片時產生面積較大時**，對壓電片產生較大的形變，亦產生較大的電壓。

c. 比較實驗一及實驗二中，我們發現液體落在壓電片上的位置不盡相同如圖(五)，所以我們透過螺旋測微器固定下壓位置如圖(六)，測量應力位置對電壓值離散程度的影響。在圖(二)中，我們觀察到**給予應力位置的不同，會影響其電壓值的離散程度**。

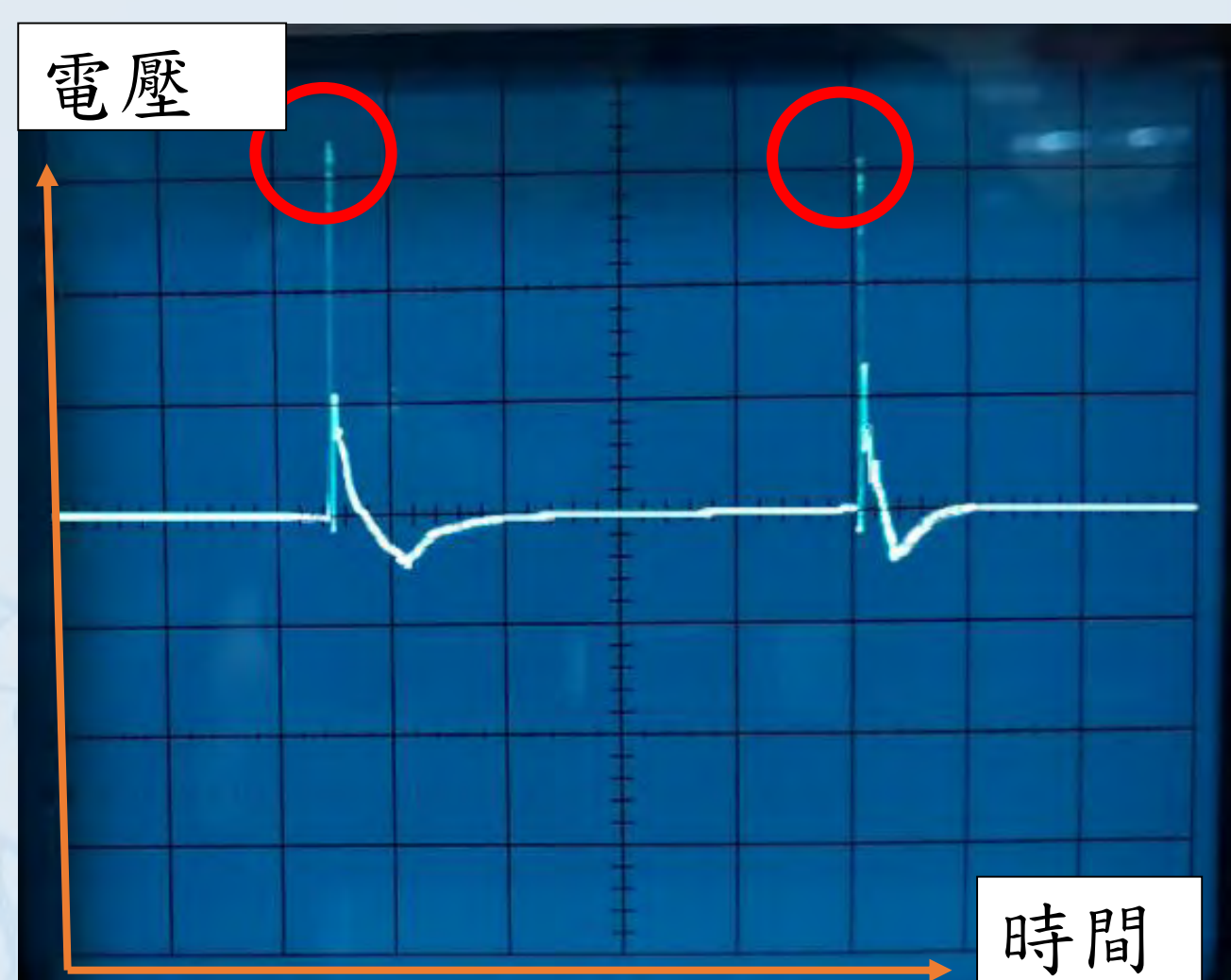


圖(五)：液體滴落時的落點可能位置



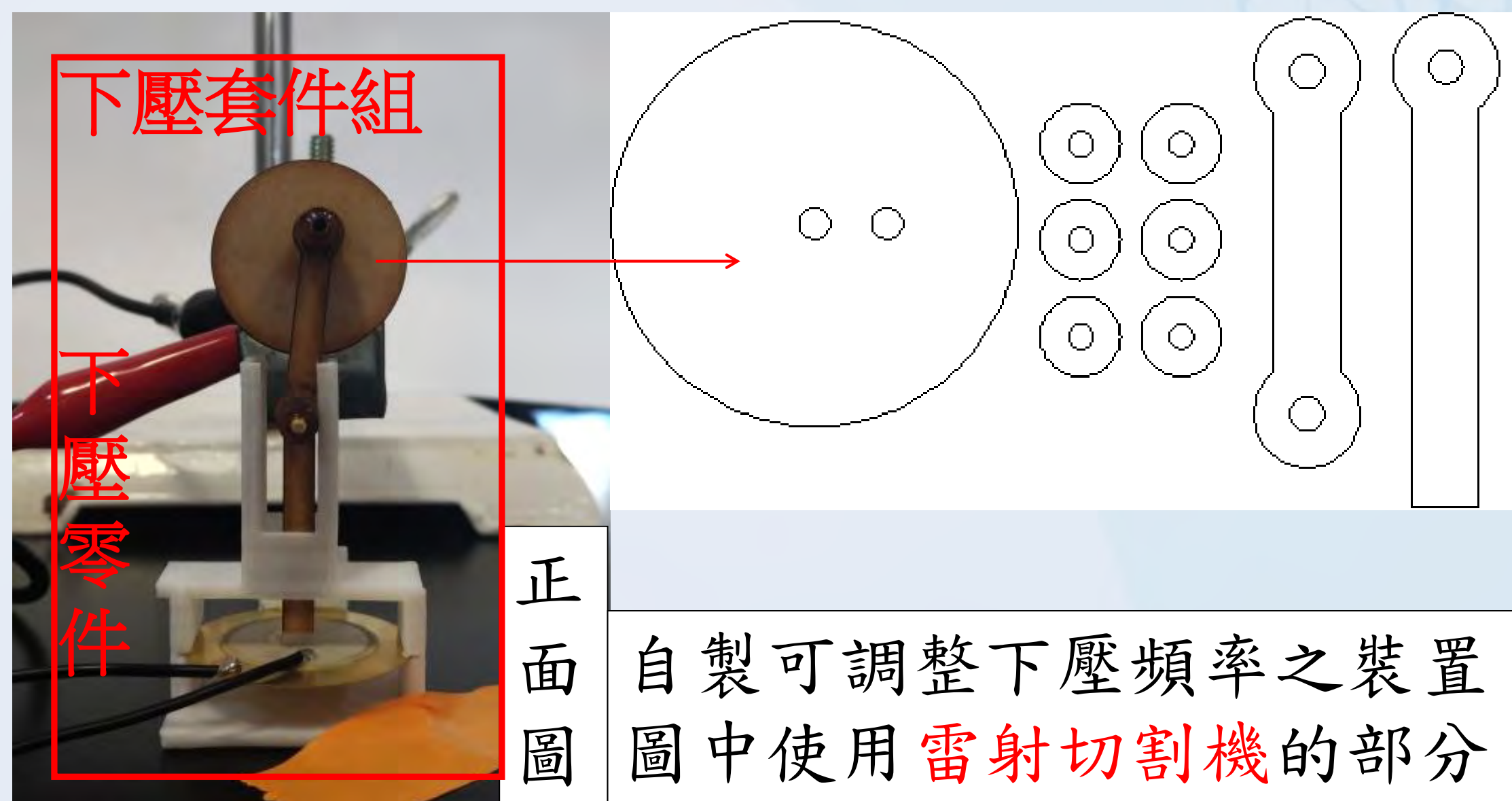
圖(六)：螺旋測微器下壓落點的位置

d. 根據圖(七)中的圖形，**壓電材質具有彈簧一般的性質**，因此我們就設想了一個實驗，若是在壓電材質伸縮到最低點時(即波形之最高點)，再下壓一次、使壓電材質的振幅增加，就能讓壓電材料產生更多的電。



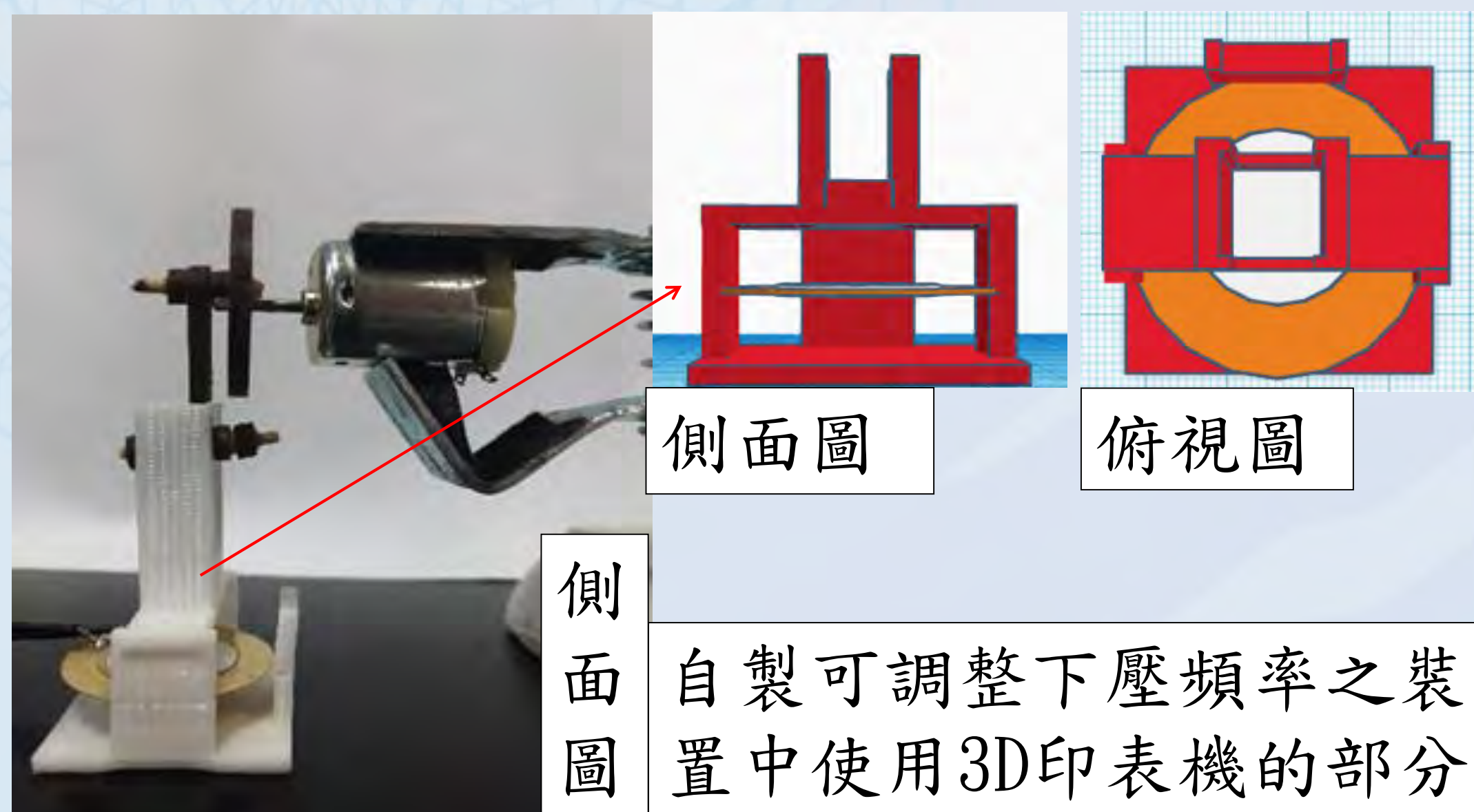
▲圖(七)

e. 在實驗三中，我們利用Arduino結合步進馬達測量壓電材料產生的電是否擁有**加成性**，可是實驗過程中我們發現**步進馬達的轉速太慢，無法超越壓電材料恢復的速度**，所以達不到讓電加成的效果，因此我們放棄了此種方法，改為直接使用直流電源供應器來改變馬達的轉速。



正面圖

自製可調整下壓頻率之裝置圖中使用**雷射切割機**的部分



側面圖

側面圖

俯視圖

自製可調整下壓頻率之裝置中使用**3D印表機**的部分

f. 在實驗四中，我們利用上圖的下壓裝置給予壓電片應力。由圖四中，我們觀察到當轉速在**52及54 rev/s**時所產生的電流及電壓明顯大於之後**57 rev/s**時所產生的值。

結論

1. 從**越高處落下的液體**可以使壓電片產生更大的電壓。
2. 在相同高度下，當液體**落到壓電片的面積越大，表面張力係數越低**可以產生更多的電壓。
3. 為了解決應力位置，我們利用螺旋測微器可控制下壓位置(實驗二)，得到**應力位置對電壓產生值有極大影響**。
4. 除此之外，我們所自製的下壓裝置，可控制下壓頻率(實驗四)，得知**馬達在52及54rev/s**時，能使壓電片產生的電擁有加成性。

未來展望

因為壓電片產生的電流太小，所以我們希望可以透過改變壓電片的形狀或是厚度，以改善壓電片產生的電流值，使其能更廣泛的應用在生活中。

參考資料

[1] Nayan HR(2015), Power Generation Using Piezoelectric Material 4, 1-3. Received April 03, 2015, from <https://www.omicsonline.org/open-access/power-generation-using-piezoelectric-material-2169-0022-1000171.pdf>

[2] 維基百科。2017年4月4日，取自 https://de.wikipedia.org/wiki/Micro_Piezo

[3] Dr. Frode Tyholdt, High Volume Piezoelectric Thin Film Production Process for Microsystems, 6-9

[4] 李隆盛(2013). 焊接實習·新北市：全華。

[5] Hill, Davion, Nellie Tong, (DNV KEMA). California Energy Commission. Publication Number: CEC-500-2013-007.2013, Assessment of Piezoelectric Materials for Roadway Energy Harvesting, Retrieved April 13, from <http://www.energy.ca.gov/2013publications/CEC-500-2013-007/CEC-500-2013-007.pdf>, P.3-17

[6] 科學園。2017年6月24日，取自 <http://enjoy.phy.ntnu.edu.tw/mod/resource/view.php?id=18354>

[7] 傅昭銘 陳義裕(2013) 選修物理·台南市：南一。