

臺北市立大安高級工業職業學校

電子科

專題報告

駐你信浮

Ultrasonic Levitation

學生 組長：曾柏凱

組員：林祈均

指導老師：林家德老師

中華民國 110 年 1 月

## 摘要

我們可透過許多方式完成工作，但如何使工作過程更加方便、輕鬆並發揮最大效益，是人類不斷的研究更多新技術的主因。本專題探討超音波懸浮技術，透過超音波懸浮技術，可避免物品接觸，而產生物體因碰觸而產生之損壞的問題。因時間及能力所及，本專題著重於懸浮小物體以及其穩定度。

本專題以兩顆超音波發射器為一組，製作單組懸浮架構及多組懸浮架構，並使用 Arduino Uno 板產生 40kHz 訊號。結合蒐集而來的及物理知識，以一組懸浮架構產生一個駐波為基礎，完成能夠懸浮微小物體（保麗龍球）的兩種超音波懸浮裝置，並研究兩者間異同之處。透過這次超音波懸浮技術之學習及裝置製作，促使我們不斷探討與之相關的物理問題，以及學會更快速地找出硬體上的問題，獲益良多。

關鍵字：Arduino，功率放大，駐波，超音波，懸浮

## Abstract

We can accomplish our work in many ways, but how to make the work process more convenient, relaxed and maximize the benefits is the main reason for human beings to continuously research more new technologies. This topic discusses the ultrasonic levitation technology. Through the ultrasonic levitation technology, the problem of object contact and damage caused by the object can be avoided. Due to time and ability, this topic focuses on floating small objects and their stability.

This topic uses two ultrasonic transmitters as a set to create a single-group suspension structure and a multi-group suspension structure, and use the Arduino Uno board to generate a 40kHz signal. Combining the collected and physical knowledge, based on a set of levitation structures that generate a standing wave, complete two ultrasonic levitation devices that can suspend small objects (styrofoam balls), and study the similarities and differences between the two. Through this learning of ultrasonic levitation technology and device production, we have continuously explored the related physical problems and learned to find hardware problems more quickly, which has benefited a lot.

Keywords: Arduino, power amplifier, standing wave, ultrasonic, levitation

# 目錄

摘要.....	I
Abstract.....	II
目錄.....	III
表目錄.....	V
圖目錄.....	VI
第一章 前言.....	1
1-1 研究背景.....	1
1-2 研究動機.....	1
1-3 研究目的.....	1
1-4 預期成果.....	1
第二章 理論探討.....	2
2-1 駐波.....	2
2-2 超音波發射器.....	2
2-2-1 超音波發射器的選用.....	3
2-2-2 工作點.....	3
2-2-3 腳位檢測.....	4
2-3 Arduino Uno 開發板.....	5
2-3-1 功能簡介.....	5
2-3-2 裝置程式碼.....	5
2-4 L293D H 橋驅動電路.....	6
2-5 HW-713.....	6
第三章 專題準備.....	7
3-1 系統架構.....	7
3-1-1 單組超音波懸浮系統架構.....	7
3-1-2 多組超音波懸浮系統架構.....	8
3-2 流程圖.....	9
3-3 甘特圖.....	9
3-4 製作方法.....	10
3-4-1 3D 列印裝置.....	10
3-4-2 電路板之佈線.....	11
第四章 專題成果.....	14
4-1 單組懸浮.....	14

4-2 多組懸浮 .....	15
第五章 結論與建議.....	15
5-1 結論 .....	15
5-2 建議 .....	15
參考文獻.....	17

## 表目錄

表 1 甘特圖（資料來源：自行製作） .....	10
--------------------------	----

## 圖目錄

圖 1 駐波 (資料來源：通訊博物館，2019) .....	2
圖 2 40T-16 零件圖 (資料來源：勝特力電子零件材料公司) .....	3
圖 3 超音波發射器內部電路 (資料來源：勝特力電子零件材料公司) .....	3
圖 4 工作點示意圖 (資料來源：大安高工電子實習教材資源庫) .....	4
圖 5 發射器腳位判別 (資料來源：自行製作) .....	4
圖 6 發射器之示波訊號 (資料來源：自行製作) .....	4
圖 7 細線戳入後發射器之示波訊號 (資料來源：自行製作) .....	5
圖 8 Arduino Uno 開發板 (資料來源：BotSheet.com) .....	5
圖 9 Arduino 程式碼 (資料來源：自行製作) .....	6
圖 10 L293D 腳位功能圖 (資料來源：天花板隨記 blog) .....	6
圖 11 HW-713 (資料來源：自行拍攝) .....	7
圖 12 單組超音波裝置架構圖 (資料來源：自行製作) .....	7
圖 13 多組超音波裝置架構圖 (資料來源：自行製作) .....	8
圖 14 流程圖 (資料來源：自行製作) .....	9
圖 15 使用 cura 將.stl 檔轉成.gcode (資料來源：自行製作) .....	11
圖 16 組裝圖 (資料來源：自行製作) .....	11
圖 17 電路板佈線圖 (資料來源：自行製作) .....	12
圖 18 焊接面及零件面超音波懸浮電路圖 (資料來源：自行製作) ...	12
圖 19 自行製作的電路板成品 (自行製作) .....	13
圖 20 實際測試保麗龍球間懸停的距離 (自行製作) .....	14

# 第一章 前言

## 1-1 研究背景

隨著科技日新月異，晶圓等精密產物的製作也更多元，伴隨而來因磨損產生的損耗問題也日益增加。不僅使製造商功虧一簣，也讓這些「廢料」變成環境污染的元兇之一。本專題著重於研討以非接觸方式移動物體，改善物品磨耗發生率。

## 1-2 研究動機

我們本身就讀電子科，且都是熱愛音樂的人，常常會追蹤電子產業相關訊息。且有時會思考我們所學的樂器：小號、吉他、薩克斯風.....的原理——駐波。偶然在網路上看到超音波懸浮的影片時，我們覺得十分特別。這項裝置和我們常接觸的理論息息相關，特別是因為其原理和駐波有關。我們想藉由這次專題探討駐波對超音波懸浮裝置的影響，以及超音波之延伸應用，提升科技發展技術並降低意外風險。

## 1-3 研究目的

- (一) 了解超音波懸浮裝置原理。
- (二) 探討超音波懸浮之應用延伸。

## 1-4 預期成果

單組與多組超音波懸浮裝置皆能懸單顆、多顆保麗龍屑，且保麗龍屑能左右移動。

## 第二章 理論探討

### 2-1 駐波

當入射波遇到固定端時會以反相波傳回，當入射波、反射波 2 個波形重疊（干涉）後的合成波就會形成駐波（standing wave）。

- 1、駐波是由兩個振幅相同、頻率相同，但行進方向相反的波動形成。
- 2、駐波上的每一個質點皆作簡諧運動。
- 3、各質點振盪的幅度不相等，振幅為零的點稱為節點或波節（Node），振幅最大的點位於兩節點之間，稱為腹點或波腹（Antinode）。

- 4、相鄰兩波節的距離稱為半波長。共振管長度  $L = n \frac{\lambda}{2}$ ， $n=1, 2, 3, \dots$  為波段數。

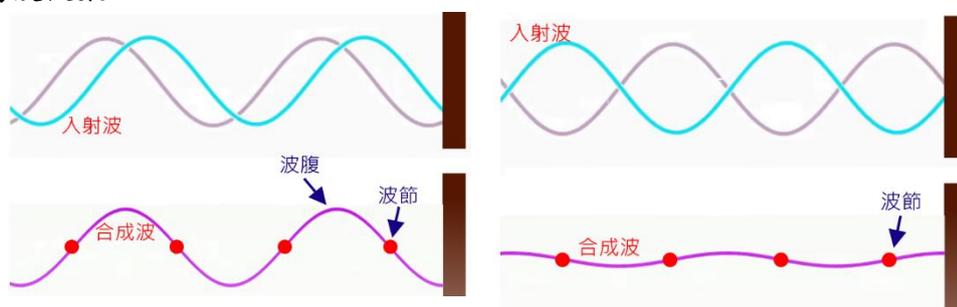


圖 1 駐波（資料來源：通訊博物館，2019）

駐波波形無法前進，且兩駐波將於半波長處產生節點，而節點為兩波形交會處為波形最穩定處。因此我們運用 Arduino Uno 開發板輸出 40KHz 訊號，並經由 L293D 產生功率，讓兩個超音波訊號產生器發出反相訊號，並調整 3D 列印出的支架，使其距離調整至半波長，以產生駐波，讓物體停留在壓力最小的節點上以達到懸浮效果。

### 2-2 超音波發射器

市售超音波感測器以一發射器、一接收器為一組，此專題僅使用發射器，不使用接收器，是因駐波之形成需要兩個僅相位不同（反相）之相似波，需運用兩顆發射器發射兩相似波以生成駐波，不需運用到接收器。

### 2-2-1 超音波發射器的選用

選用 40T-16 是因其所能發射出的頻率為 KHz 正弦波，經測試證實由正弦波形成之駐波較方波形成者穩定，且此型號具有高靈敏度及品質穩定。



圖 2 40T-16 零件圖（資料來源：勝特力電子零件材料公司）

### 2-2-2 工作點

透過超音波發射器內部電路結構可推知其工作點與共射極電路相關，分析最佳工作點的數值，最後使用 40kHz 之訊號最為適當。

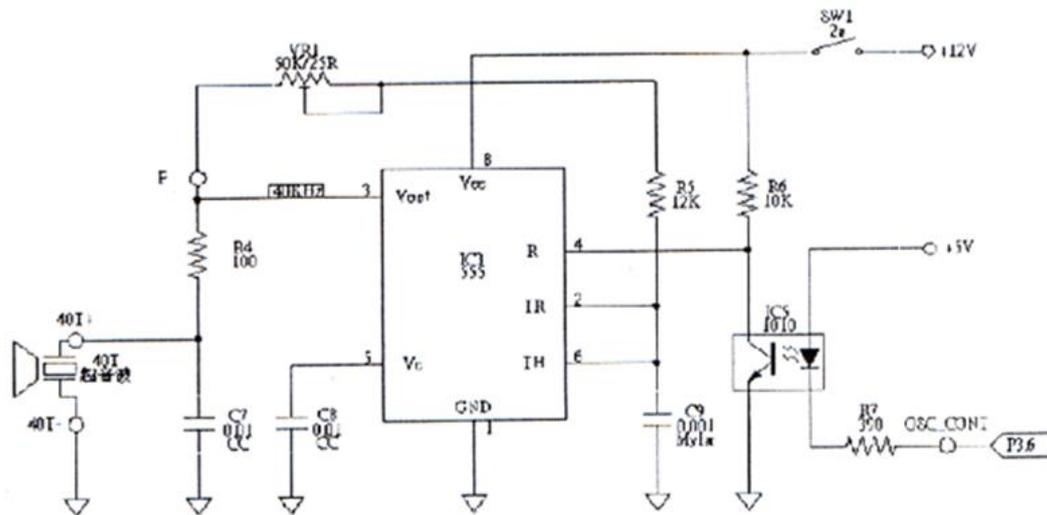


圖 3 超音波發射器內部電路（資料來源：勝特力電子零件材料公司）

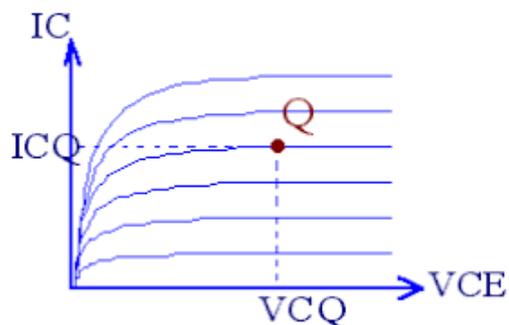


圖 4 工作點示意圖（資料來源：大安高工電子實習教材資源庫）

### 2-2-3 腳位檢測

市售超音波感測器皆會於兩腳之中標記一腳，依據廠商、型號不同，標記腳可能為訊號輸出腳或是接地腳，但標記不一定正確，仍需透過檢測確定。正常標記如下。

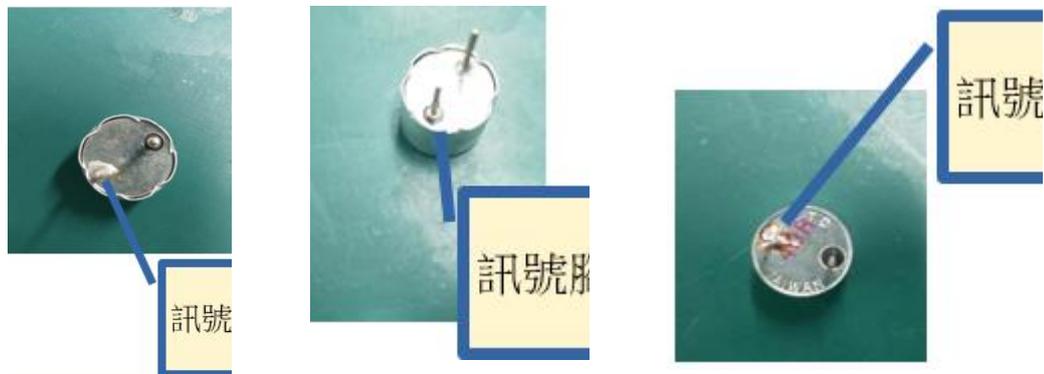


圖 5 發射器腳位判別（資料來源：自行製作）

參考物理女孩之理論我們習得以下方法檢測腳位。先將超音波發射器之標記腳與無標記腳分別接至示波器正端及接地端，呈現之波形如下圖。



圖 6 發射器之示波訊號（資料來源：自行製作）

後將銅線戳入超音波發射器內部，若示波器呈現尖峰上升則標記腳為訊號輸出端；若示波器呈現低下平坦則標記腳為接地端，如下圖所示。

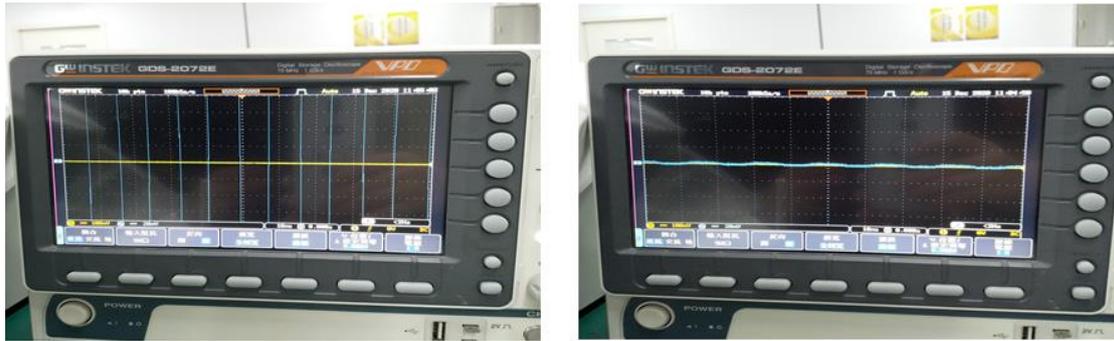


圖 7 細線戳入後發射器之示波訊號（資料來源：自行製作）

## 2-3 Arduino Uno 開發板

單組超音波懸浮裝置選擇以撰寫程式驅動電路，採用我們最為熟悉的 Arduino Uno 開發板撰寫。

### 2-3-1 功能簡介

Arduino Uno 以 ATmega328P 做為核心，板上配有 14 個數位輸入／輸出接腳（其中兩隻可作為 TX、RX 溝通）、6 個類比輸入、16 MHz 石英晶體、電源插孔、USB 連接孔及重置按鈕，如下圖。

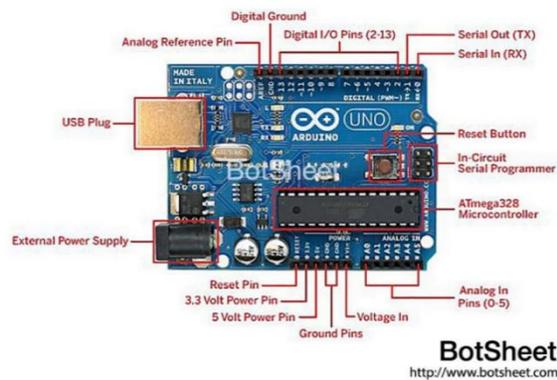


圖 8 Arduino Uno 開發板（資料來源：BotSheet.com）

### 2-3-2 裝置程式碼

配合原理說明，主要撰寫讓 Arduino Uno 以計時中斷的方式產生 40KHz 訊號。採用埠暫存器的寫法，讓埠 C 的 6 個腳位（A0~A5）能同時產生 40KH 訊號，且相鄰兩腳間的訊號為反相，程式碼如下。

```

1 byte TP = 0b10101010; // 每一隻腳都可接收到反向訊號
2 void setup() {
3   DDRC = 0b11111111; // 使用到PORT C, 故每個類比腳(A0~A5)都設為輸出
4   // 初始化計時器1
5   noInterrupts(); // 設定前先禁止中斷
6   TCCR1A = 0; // 設為一般用途Timer
7   TCCR1B = 0;
8   TCNT1 = 0;
9   OCR1A = 200; // 設定比較暫存器(16MHz / 200 = 80kHz square wave -> 40kHz full wave)
10  TCCR1B |= (1 << WGM12); // CTC模式
11  TCCR1B |= (1 << CS10); // 設定預除器為 1 ==> no prescaling
12  TIMSK1 |= (1 << OCIE1A); // 致能比較計時器中斷
13  interrupts(); // 致能中斷
14 }
15 // 中斷服務
16 ISR(TIMER1_COMPA_vect) {
17   PORTC = TP; // 輸出TP值至PORT C(A0~A5)
18   TP = ~TP; // TP取補數, 等待下次中斷時使用
19 }
20 void loop() {
21   // 不做任何事
22 }

```

圖 9 Arduino 程式碼 (資料來源：自行製作)

## 2-4 L293D H 橋驅動電路

我們採用 L293D 來推動超音波發射器，因其內部為 H 橋驅動電路，可避免開發板電流無法推動，也能防止裝置電流過大而燒毀開發板。

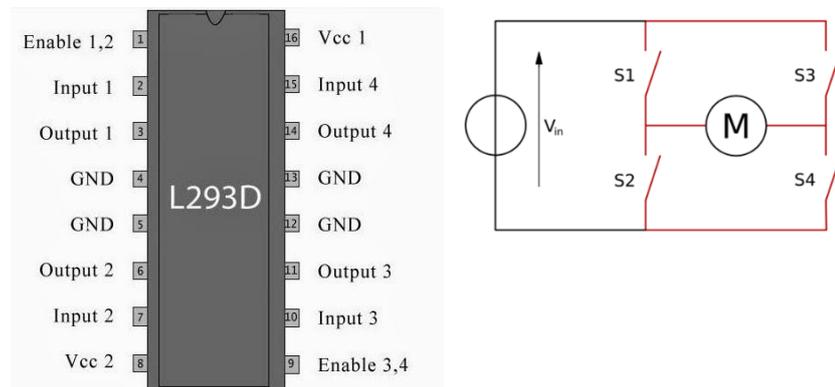


圖 10 L293D 腳位功能圖 (資料來源：天花板隨記 blog)

## 2-5 HW-713

如圖，為一 D 類大功率放大器，且輸入信號類型為音源輸入，可推動更大功耗的負載。



圖 11 HW-713 (資料來源：自行拍攝)

### 第三章 專題準備

#### 3-1 系統架構

##### 3-1-1 單組超音波懸浮系統架構

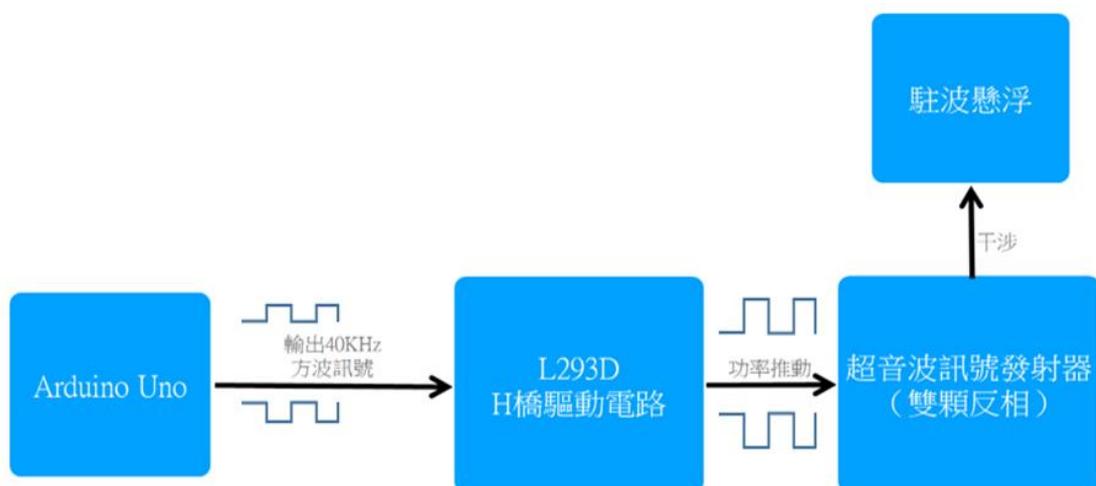


圖 12 單組超音波裝置架構圖 (資料來源：自行製作)

### 3-1-2 多組超音波懸浮系統架構

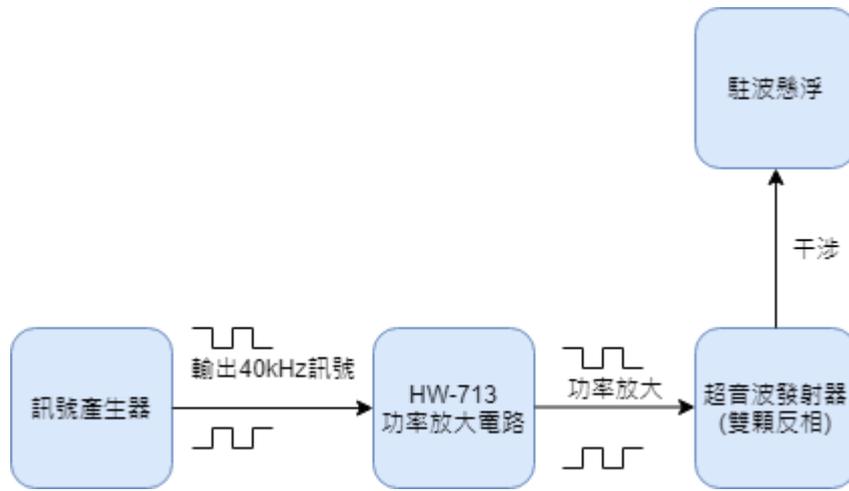


圖 13 多組超音波裝置架構圖 (資料來源：自行製作)

### 3-2 流程圖

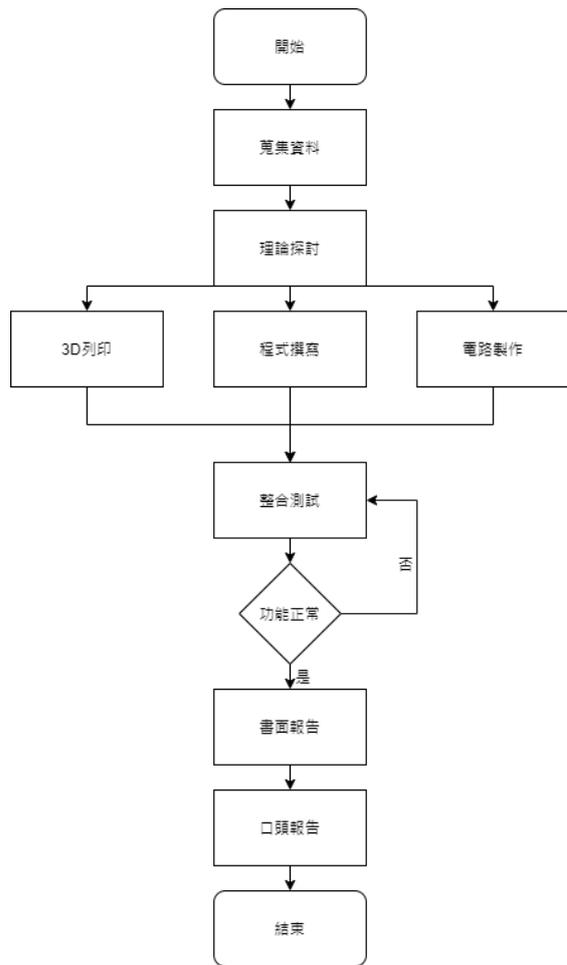


圖 14 流程圖 (資料來源：自行製作)

### 3-3 甘特圖

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	負責成員
蒐集資料																			全員
理論探討																			全員



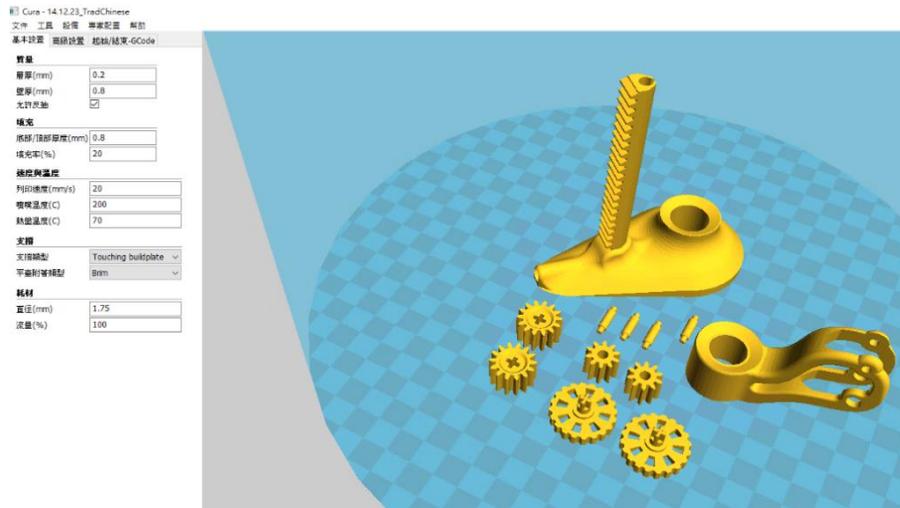


圖 15 使用 cura 將.stl 檔轉成.gcode (資料來源：自行製作)

2、列印組裝圖，如圖所示

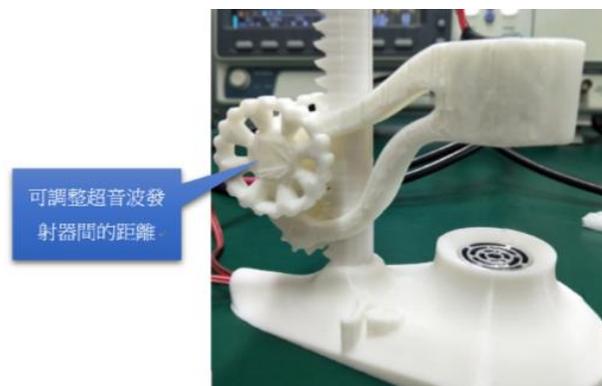


圖 16 組裝圖 (資料來源：自行製作)

### 3-4-2 電路板之佈線

1、使用 Altium Designer 佈線及鋪銅，如圖。

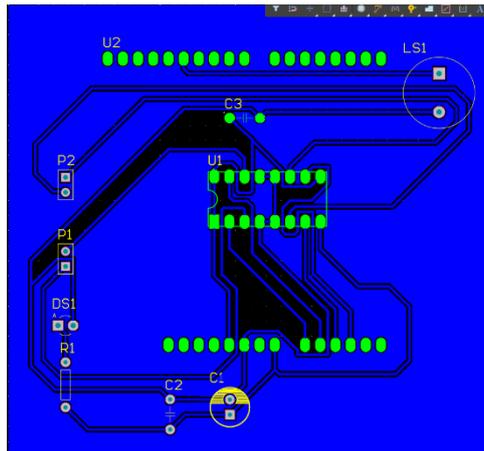


圖 17 電路板佈線圖（資料來源：自行製作）

2、將影印稿輸出後，覆蓋於單面印刷電路版上曝光，並放入顯影劑水溶液中顯影，最後放入蝕刻機蝕刻，鑽孔焊接完成電

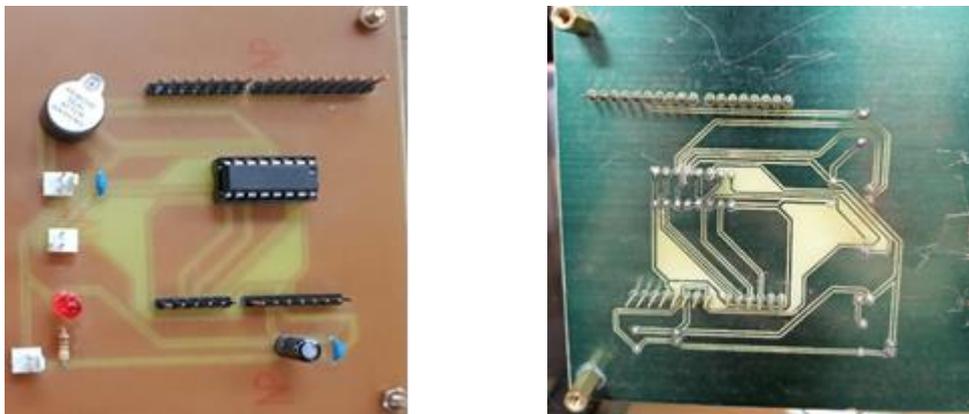


圖 18 焊接面及零件面超音波懸浮電路圖（資料來源：自行製作）

3、結合 3D 列印後成果如圖。



圖 19 自行製作的電路板成品（自行製作）

## 第四章 專題成果

### 4-1 單組懸浮

- (一) 接上電源。
- (二) 使用鑷子夾取保麗龍球，放在超音波懸浮的超音波發射器間，試試可否在某一處懸停。
- (三) 等懸停後可繼續放第 2、3 或更多顆。
- (四) 討論測量可懸停的保麗龍球間的距離為多少 mm。接著進行底下計算，驗證此距離（半波長）是否正確？實驗證實，兩個保麗龍球間的距離約 4.25mm，正是波長的一半，結果非常正確；波長的計算如下：

1、假設溫度  $T=15^{\circ}\text{C}$ 。

2、計算聲音傳播速度  $C=331+0.6T=340\text{ m/s}$ 。

3、 $C=f\lambda$ ，超音波  $f=40\text{kHz}$ ，故波長 $=8.5\text{mm}$ 。

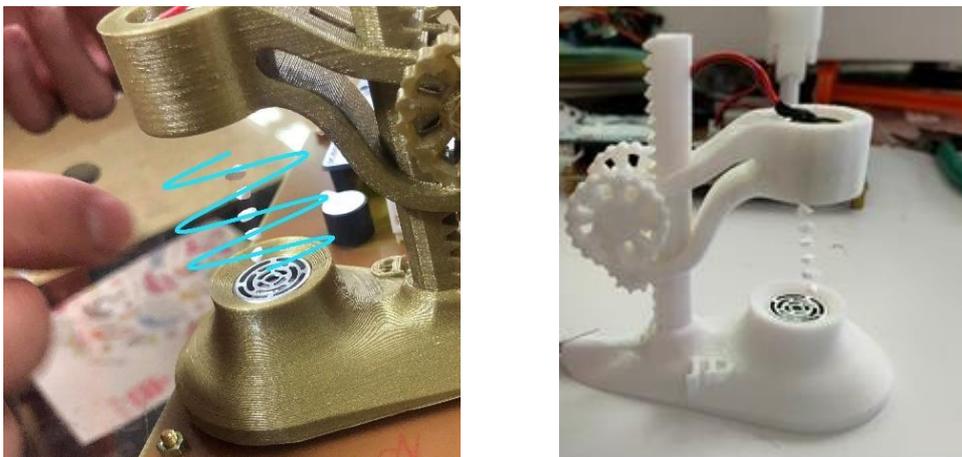


圖 20 實際測試保麗龍球間懸停的距離（自行製作）

## 4-2 多組懸浮

- (一) 將電源供應器接於放大器之  $V_i$  處。
- (二) 將訊號產生器輸出之 40kHz 正弦波接至音源線後，插入放大器之音源輸入端。
- (三) 使用鑷子夾取保麗龍球，放在超音波懸浮的超音波發射器間，試試可否在某一處懸停。
- (四) 等懸停後可繼續放第 2、3 或更多顆。
- (五) 將裝置慢慢傾斜，會發現保麗龍球漸漸掉落，但越位於裝置中心的小球因所受功率較大，較不易掉落。

## 第五章 結論與建議

### 5-1 結論

在研究、觀察過程中，我們仍須以全方位的角度檢視我們欲觀察的物品。不論是從昆蟲研究，或是無塵室的元件測試，亦或醫學手術所需，選擇像超音波懸浮這類無接觸式的技術，不僅僅可以觀察的更透徹，磨損的風險也會較低。若功率能增大至懸浮公噸重的物品，將來的應用將無可限量。取代磁浮等需特殊媒介才可產生的功能將指日可待。

### 5-2 建議

這次專題成品我們認為比較粗糙，而可改進的問題可有以下幾點：

- 一、功率不足：由於  $W=QV=mgh$ ，我們根據量測數值推估每組發射器產生能量約為 0.24 焦耳，節點所能懸浮之物體重約 5~6g。因此，我們覺得可使用高壓電源提升能量，並加上輕載以降低電流，避免人體誤觸。
- 二、選用直徑更小之發射器：我們這次選用直徑為 16mm 之發射器，在多組裝

置時難免會因間隔過大，而造成功率供給不均等問題。因此，我們覺得可使用 10mm 之發射器，縮短間隔以提升功率供給的有效程度。

三、使物體移動：單單只懸浮物體是不夠看的。若是能移動物體，將使得運送、觀測物體時更加簡便，希望能透過程式撰寫或是其他物理辦法，使得不需移動支架便能使物體產生位移，如上下移動或是左右移動。

## 參考文獻

- [1] condruttoma (2019) : Ultrasonic Levitator Support。2020 年 11 月 5 日，取自 <https://www.thingiverse.com/thing:3913290>
- [2] IT Robotics Lab 艾錡學院技術 Blog (2016) L293D：馬達驅動模板。2020 年 11 月 5 日，取自 <http://blog.ittraining.com.tw/2016/06/l293d.html>
- [3] L293D datasheet  
<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/99683/STMICROELECTRONICS/L293D.html>
- [4] UpnaLab (2017) Acoustic Levitator : 26 Steps (with Pictures) – Instructables。2020 年 11 月 2 日，取自 <https://www.instructables.com/Acoustic-Levigator/>
- [5] 大安高工電子實習教材資源庫：共射極工作點圖。2020 年 11 月 16 日，取自 [http://elect.taivs.tp.edu.tw/course/ch05\\_03.htm](http://elect.taivs.tp.edu.tw/course/ch05_03.htm)
- [6] 維基百科：H 橋  
<https://zh.wikipedia.org/wiki/H%E6%A1%A5>
- [7] Condruttoma (2019) : Ultrasonic Levitator Support。2020 年 10 月 9 日，取自 <https://www.thingiverse.com/thing:3913290>
- [8] Ulrich Schmerold (2018) : Micro Ultrasonic Levitator。2020 年 10 月 13 日，取自 <https://makezine.com/projects/micro-ultrasonic-levitator/>
- [9] CEILING TSAI (2014) : Raspberry Pi 筆記 (7) : 使用 L293D 驅動馬達  
2020 年 10 月 11 日，取自 <https://atceiling.blogspot.com/2014/02/raspberry-pi-l293d.html>
- [10] 蔡坤憲 (2017) : 你知道亞得里亞海岸旁的「海風琴」嗎？  
2020 年 10 月 11 日，取自 [https://www.ps-taiwan.org/Bimonth/article\\_detail.php?classify=c3&cid=283](https://www.ps-taiwan.org/Bimonth/article_detail.php?classify=c3&cid=283)
- [11] 通訊博物館：駐波（橫波）。2020 年 10 月 9 日，取自 [http://www.cmm.gov.mo/chi/exhibition/secondfloor/MoreInfo/2\\_11\\_0\\_StandingWave.html](http://www.cmm.gov.mo/chi/exhibition/secondfloor/MoreInfo/2_11_0_StandingWave.html)
- [12] 非接觸式高精度平台之設計與控制應用：行政院國家科學委員會補助專題研究計畫。2020 年 10 月 9 日，取自 <https://reurl.cc/m9xa8l>
- [13] 勝特力電子零件材料公司 40T/R-16 DataSheet。2020 年 10 月 12 日，取自 [http://images.100y.com.tw/pdf\\_file/40TR-16.pdf](http://images.100y.com.tw/pdf_file/40TR-16.pdf)
- [14] 陳錫桓 (1982) : 熱學，聲學。臺北市：中央圖書出版社。