

**National Cheng Kung University**  
**Institute of Space and Plasma Sciences**  
**108 Annual Report**

研究生：林彥呈 Yen-Cheng Lin

指導教授：張博宇 Po-Yu Chang

# 年度報告

## 摘要

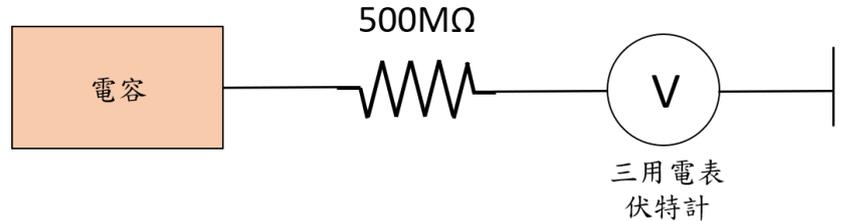
此份報告整理 2019 年後半年的工作內容，主要是脈衝功率系統建置完成後進行了一些整理及升級，其中包含線路的統整及部件的升級。在脈衝功率系統中，我們用 8 根鎢絲做為錐形線陣列的導線，並安裝與測試。當系統電流通過導線時將其消融成電漿態，並透過  $\vec{j} \times \vec{B}$  力及 Z 方向不均勻效應來壓縮形成電漿噴流。最後也為自製的針孔相機中的 MCP 部件組裝一個無塵櫃來進行針孔相機的組裝。

## 一、脈衝功率系統的升級

脈衝功率系統完成兩翼建置後進行最後的整理與收尾，將電路與氣路重新佈置讓系統更整潔，也針對一些部件重新設計及安裝，其中包含了(一)電壓量測的電表，(二)氣管更新與氣閥面板，(三)電路整理，(四)乾燥系統建置，(五)觸發訊號產生器，說明如下：

### (一)電壓量測的電表

在實驗中，兩翼的電容會充電至 20kV，為了能即時的得知電容電壓，我們在兩翼各接了一組電表及 500MΩ 的電阻來量測電容的電壓，如圖一。

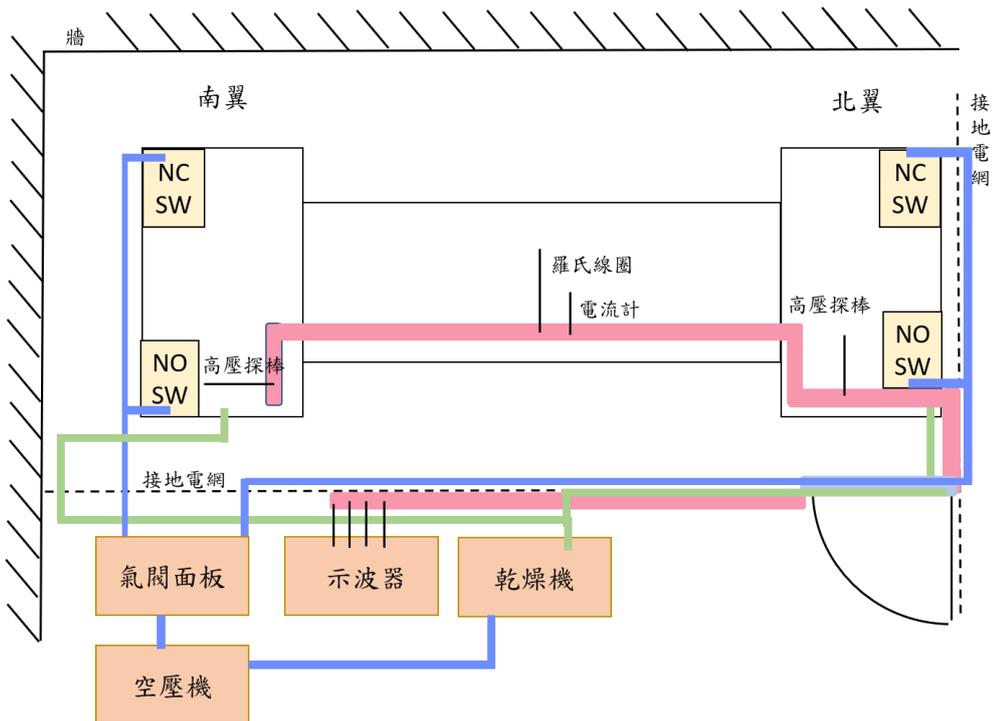


圖一、電容電壓量測的電表

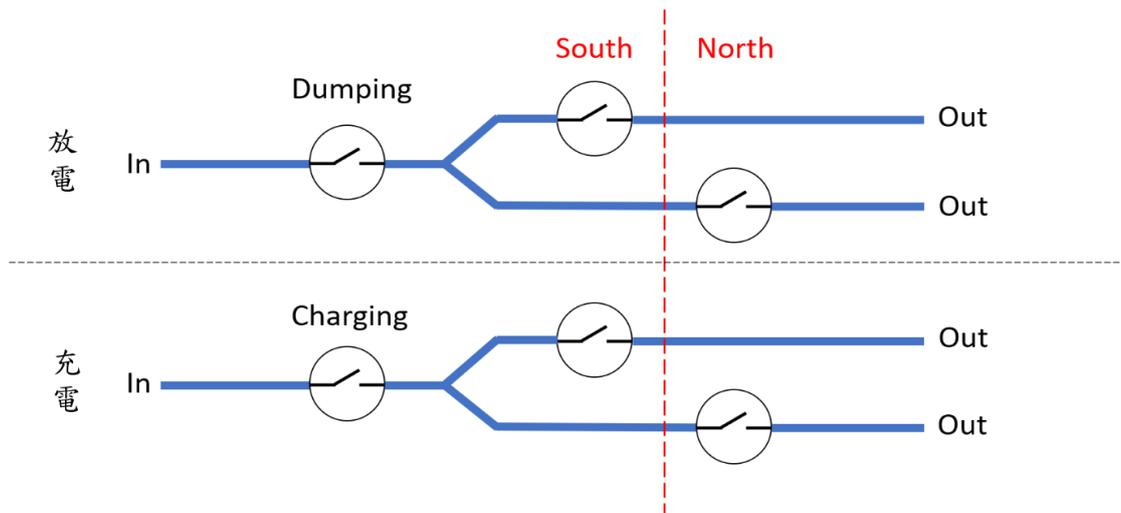
### (二)氣管更新與氣閥面板

在系統中我們透過空壓機壓縮氣體並控制快接閥開關來作動充放電開關，開關如圖二中 NCSW (Normally closed switch 放電開關)及 NOSW (Normally open switch 充電開關)，壓縮氣體管線如圖中藍色線。然而快接閥的規格為 6 mm 直徑的氣管，但原先系統中使用的是 2 分管，管徑為 6.25 mm，導致快接閥僅能使用一次。考慮到整體性與相容性，故決定將所有氣管皆改為 6 mm 管徑。在實驗操作時，原先只利用兩個氣閥分別控制充電與放電開關，為了可單獨調控兩翼的充放電開關，所以製作了新的氣閥面板。圖三為氣閥面板的線路圖，面板分為上下兩部分，上方控制放電開關，下方控制充電開關，藍色線路為氣管。氣體從左邊進入後首先通過充放電的開關總成，此總成可同時控制南北翼的充電或放電，接著線路各分為兩條共四線通過氣閥，其分

別對應系統中兩翼的四個開關，最後從右側連接至各個開關。



圖二、系統圖



圖三、氣閥面板開關

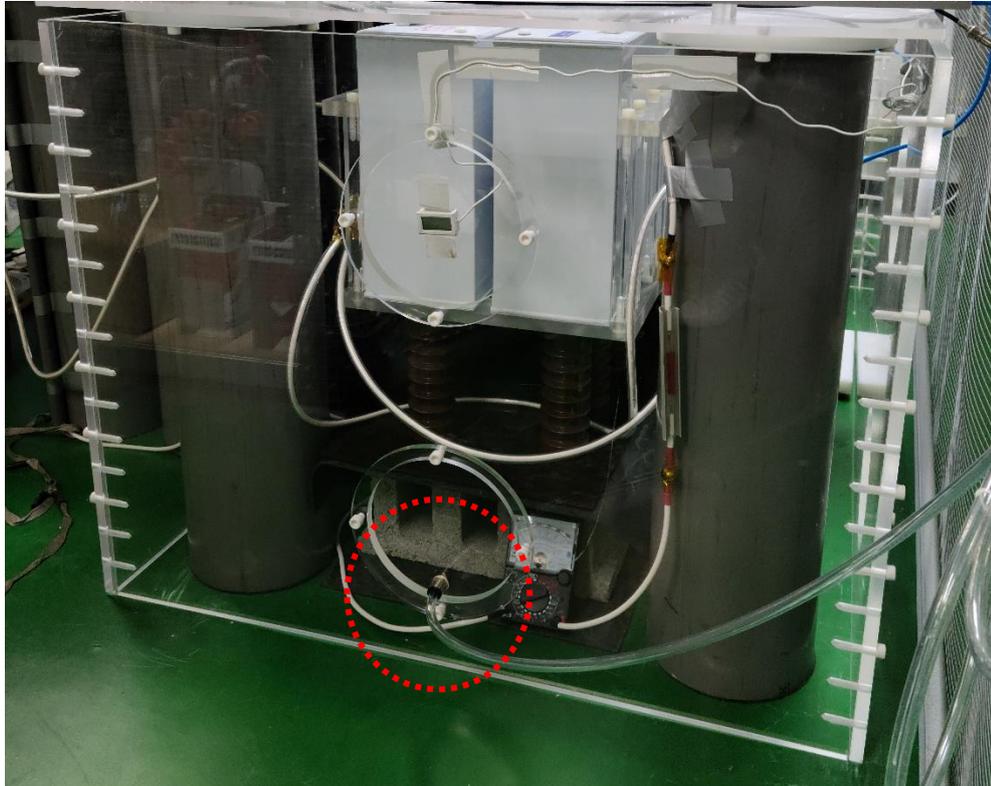
### (三) 電路整理

為保持系統整齊及乾淨，我們使用絕緣配線槽(MD-2.5)來收納電線及訊號線，其布置方式如圖二所示，粉紅色物件為配線槽，透過配線槽布置，訊號線可從示波器牽引至南北兩翼及電流計等。

### (四) 乾燥系統建置

為確保軌道間隙開關的環境清潔及電容的環境濕度固定，我們為系統建置換氣系統。為了確保電容的環境濕度固定，利用乾燥機沿著鐵絲

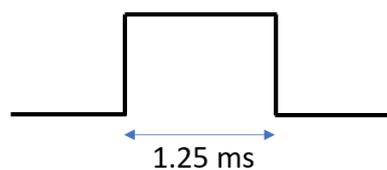
網布置管線輸送乾燥氣體，如圖二中綠色線，並於電容四周裝上壓克力蓋板，如圖四，將乾燥氣體由下方灌入艙室中(圖四紅色虛線處)，由乾燥氣體( $N_2:28, O_2:32$ )較水氣( $H_2O:18$ )重的原理，從上方將水氣排出，確保環境濕度固定。



圖四、系統電容壓克力蓋板及乾燥氣體輸入

#### (五)觸發訊號產生器

因系統運作時會有浮動電壓，造成儀器損毀，因此示波器及波形產生器(用於觸發訊號)皆以汽車電池供電，與脈衝系統獨立隔開。而為了減少損失成本，我們利用 Arduino Nano plate 及光電訊號轉換器來製作觸發訊號產生器，以此取代原先系統中的訊號產生器。觸發訊號產生器分為兩個部件，一個為開關觸發盒，盒子上有開關撥桿及觸發按鈕，而另一個部件為訊號產生盒，透過 Arduino 偵測開關觸發盒的動作來判定是否產生訊號，並利用光電轉換器將電訊號轉為光訊號送出。圖五為觸發訊號波型，為一個 1.25 ms 脈衝訊號。

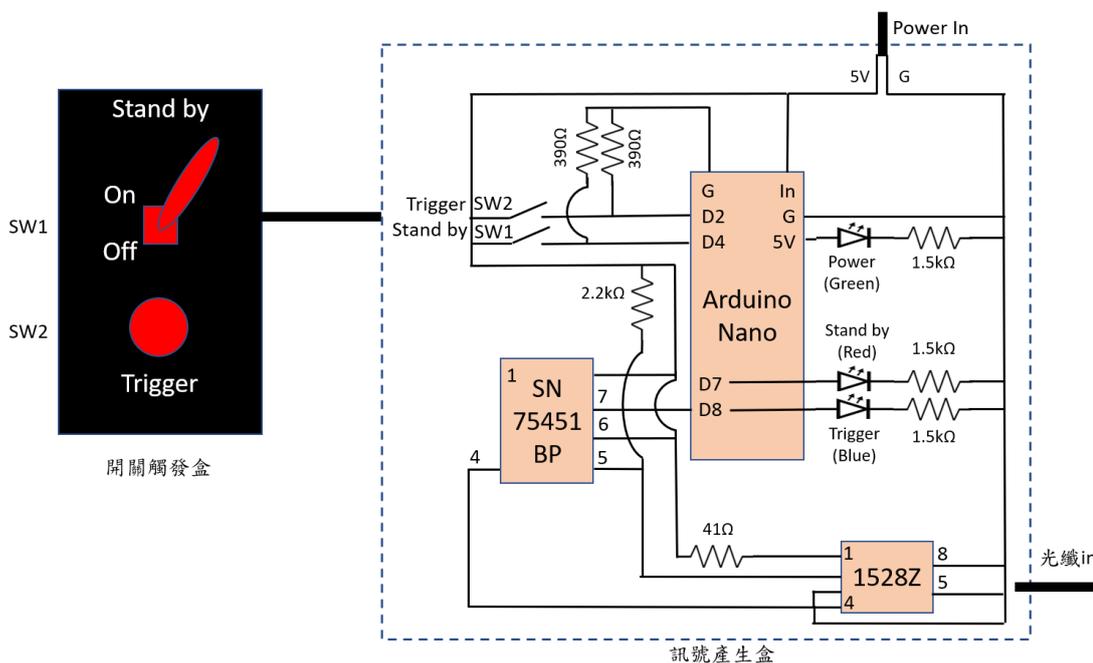


圖五、觸發訊號波型

圖六為觸發訊號產生器，黑色盒子為控制開關，透過 on/off 撥桿來調整準備狀態，而紅色按鈕為觸發鍵。銀色盒子為主線路盒，內有電路及 Arduino 板，上方燈號由左至右分別為電源燈(Power 綠)、準備狀態燈(Stand by 紅)、觸發訊號燈(Trigger 藍)。圖七為觸發訊號產生器的電路圖。

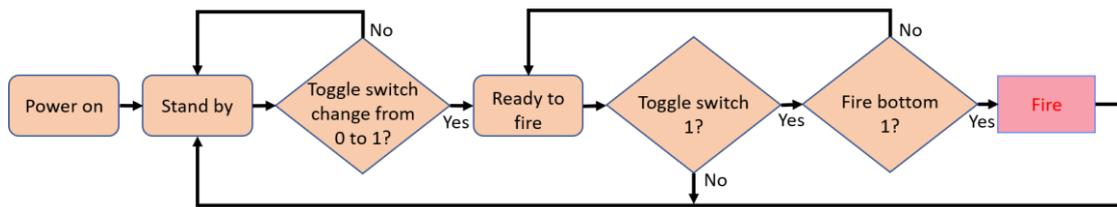


圖六、觸發訊號產生器



圖七、觸發訊號產生器的部件與電路圖

圖八為判斷觸發流程圖，觸發條件為需將開關撥桿從 off 撥至 on，狀態才會判定為可觸發，反之後按下觸發鈕才會產生訊號一次，若觸發條件未滿足，則無法觸發。程式碼詳見附錄。



圖八、判斷觸發流程圖

## 二、錐形線陣列

為了製造電漿噴流，我們用脈衝功率系統來產生電流，通過由 8 條鎢絲構成的錐形線陣列來形成噴流。錐形線陣列形成噴流的過程分為三階段<sup>[1]</sup>(標示於圖九)：

### 1. 導線燒蝕 (Wire ablation):

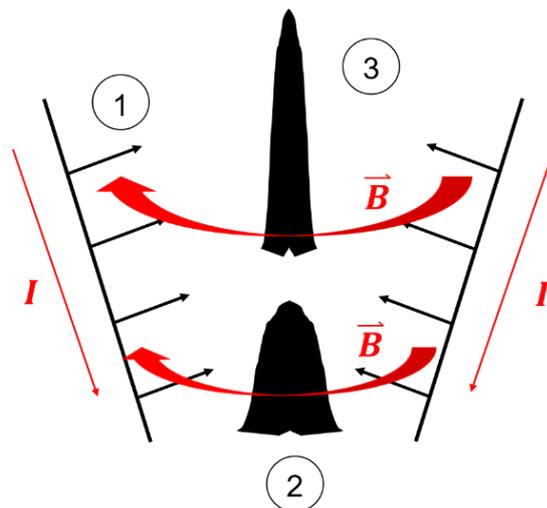
當電流通過導線時將透過歐姆加熱加熱導線，使導線消融成電漿態並噴離表面。

### 2. 形成母核 (Precursor):

電流通過線陣列時產生圖中順時針的磁場，電漿受到指向軸心的  $\vec{j} \times \vec{B}$  力往軸心推進，並堆積於軸心處形成母核。

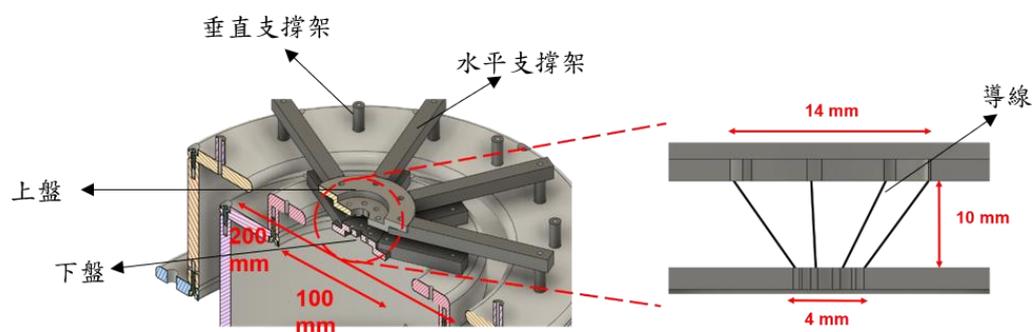
### 3. 形成電漿噴流 (Plasma jet):

由於線陣列為錐體形狀，上下半徑不同，下方因半徑較小，磁場較大， $\vec{j} \times \vec{B}$  力也相對較大，造成上下受力不均勻，而將前導物向上推出形成電漿噴流。



圖九、電漿噴流形成的機制

圖十為錐形線陣列的結構圖，主要結構有上盤及下盤、水平及垂直支撐架及導線，實驗中使用兩組直徑為 0.2 mm 及 0.02 mm 的 8 條鎢絲做為導線，組裝步驟如下：



圖十、錐形陣列結構圖

(一)將上盤如圖十一(a)及下盤如圖十一(b)與水平支撐架連接



圖十一(a) 上盤與水平支架



圖十一(b) 下盤與水平支架

(二)將鎢絲一端固定於下盤背面並用螺絲鎖上，另一端穿過中心至正面依序用膠帶黏貼於水平支撐架上，切記不要相互纏繞。

(三)將下盤及垂直支撐架固定於實驗艙中如圖十二(a)

(四)將上盤鎖上並固定，切記要鎖緊圖十二(b)

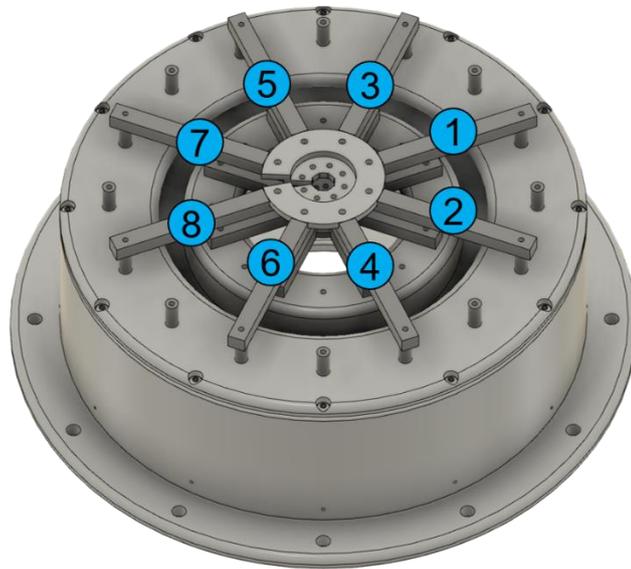


圖十二(a) 下盤鎖至同軸傳輸線



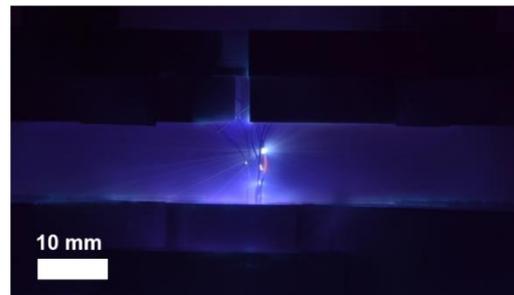
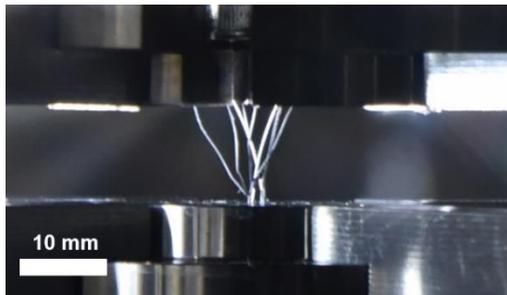
圖十二(b) 上盤鎖至同軸傳輸線

(五)最後將黏貼於下盤的鎢絲依序撕下並從上盤開口處繞進上盤並固定鎖上。順序從距離開口處最遠的開始，依序至開口處旁的鎢絲。如下圖十三所標示順序。

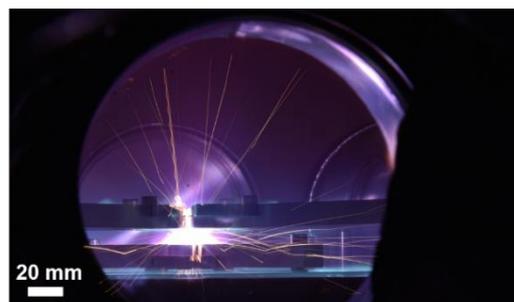
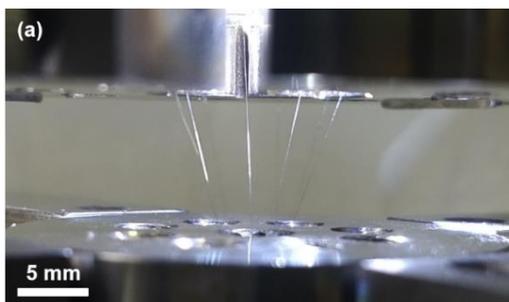


圖十三 錐形線陣列完成安裝架構圖

圖十四與圖十五分別為直徑 0.2 及 0.02 mm 鎢絲使用 NIKON D750，f/22，ISO Lo1，曝光 30 秒下所拍攝的實驗照片。由兩圖比較可見 0.2 mm 鎢絲無法拉成直線，因鎢絲直徑過粗，不易拉直，而 0.02 mm 的鎢絲相對就較為直線且整齊。然而，兩者因都還在測試階段，故結果不慎理想，從照片中還無法看到電漿噴流，只能看到導線的燒蝕。



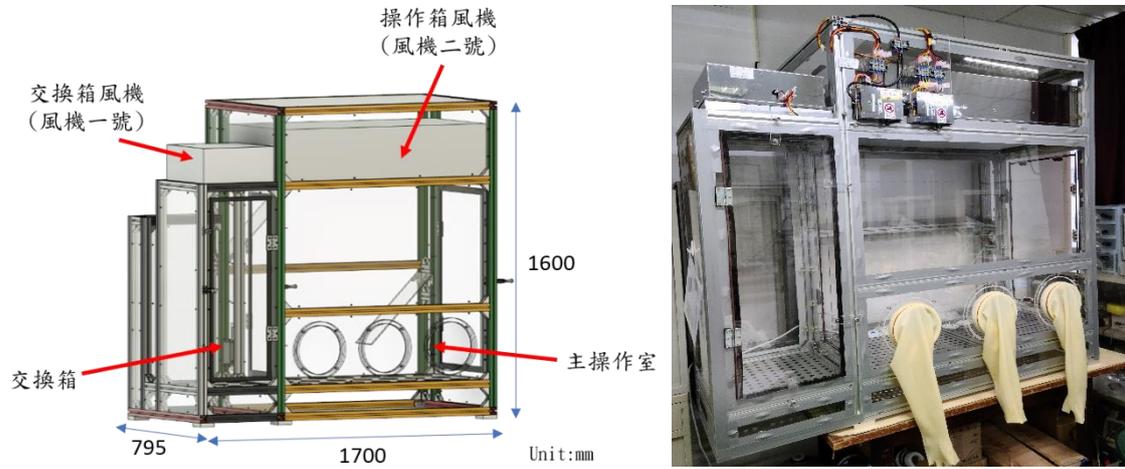
圖十四、直徑 0.2 mm 鎢絲長曝光照片



圖十五、直徑 0.02 mm 鎢絲長曝光照片

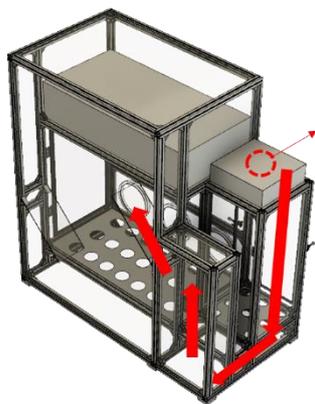
### 三、無塵櫃

在未來的實驗，將使用自製的針孔相機來拍攝影像。相機中有微通道平板 (Microchannel plat, MCP) 部件，MCP 需要在無塵環境中操作，無塵條件需達 ISO 5 或 class 100，因此我們為此組裝一個無塵櫃。

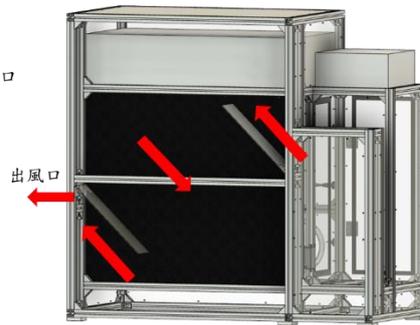


圖十六、無塵櫃

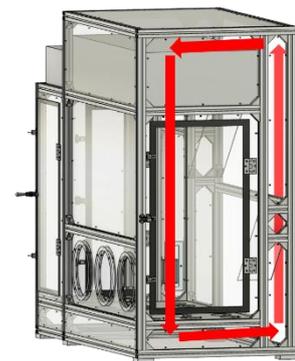
無塵櫃由兩區塊組成，分別為主操作室及交換箱，兩者上方各有一組過濾風機將空氣過濾達到無塵效果。無塵櫃中氣流方向如圖十七所示，從入風口進入風機一號，過濾後由上至下流經交換箱後至後方循環，接著如圖十八所示，氣流進入後方循環後，會透過兩個壓克力板來分隔，一部分氣流會沿著圖十八箭頭所示流出出風口，另一部分氣流會沿著圖十九箭頭所示，移動至操作箱上方經過風機二號，過濾完由上至下通過操作區，並從下方流回後方循環。



圖十七 左後視角



圖十八 後方視角



圖十九 右測視角

此無塵箱無塵條件需達 ISO 5，規格要求如表一，表中所列顆粒數目為各粒徑大小最大容許數量。

表一、無塵條件 ISO 5 規格要求

Particle /m <sup>3</sup>	ISO 5	>=0.1 um	>=0.2 um	>=0.3 um	>=0.5 um	>=1 um	>=5 um
		10000 0	23700	10200	3520	832	29

而我們使用超微粒子計數器(規格如表三)來檢測無塵箱內粒子數目，測量風機將 0.02~1um 粒子完全過濾掉所需的時間，測試結果如表二，由此可知最少需等 30 秒後無塵箱可達要求的環境。

表二、風機將 0.02~1um 粒子完全過濾掉所需的時間

Test position	1	2	3	4
	Center	Right	Left	Exchange
Time	15s	30s	30s	20s

- 背景粒子數目:2000~3000/cm<sup>3</sup>

表三、使用儀器規格

型號	P-TRAK ULTRAFINE PARTICLE COUNTER 8525
可測粒徑大小	0.02~1 um
可測粒子數目	0~500,000 particles/cm <sup>3</sup>
儀器由成大環醫所林明彥老師實驗室提供	

手套箱使用守則如下：

(一)開始使用：

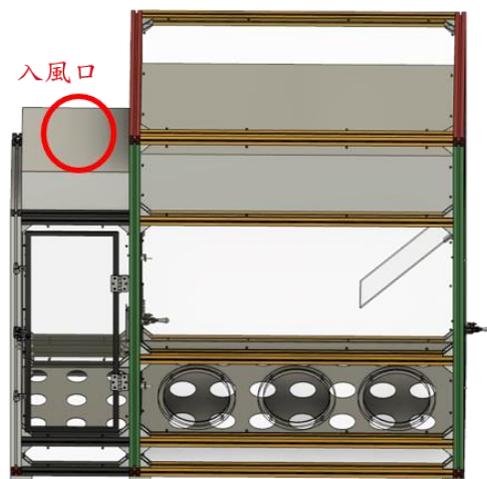
1. 開啟白板左側牆上 220 伏電源開關。
2. 拿掉入風口的壓克力板(如圖二十(a))。
3. 啟動交換箱上方風機(風機一號)。
4. 等待 10 秒再開啟操作箱上方風機(風機二號)。
5. 拿掉出風口的壓克力板(如圖二十(b))。
6. 等待 30 秒。
7. 戴上實驗用乳膠手套再。
8. 開始操作

(二)交換箱使用:操作中途欲傳遞物品，請使用交換箱

1. 開啟交換箱。
2. 放入物品。
3. 關上門。
4. 等待 30 秒。
5. 從操作箱開啟連通門拿取交換箱物品。
6. 關閉連通門。

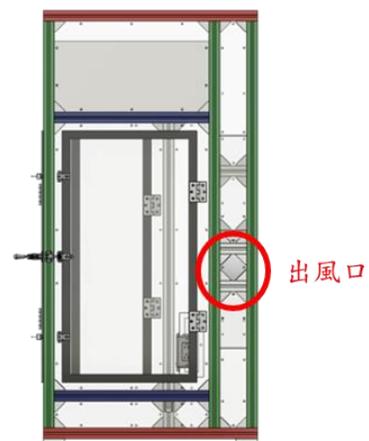
(三)結束使用：

1. 裝上出風口的壓克力板。
2. 關閉風機二號。
3. 關閉風機一號。
4. 蓋上入風口壓克力板。
5. 關閉白板左側牆上 220 伏電源開關。



前方視圖

圖二十(a) 前方視圖



右側視圖

圖二十(b) 右側視圖

#### 四、未來工作：

我將重新設計線陣列的結構並完成針孔相機及分幅照相機的製作。通過使用干涉儀、雷射等儀器，測量電漿噴流的密度、流速等等，並由圖像來量測弓形震波與障礙物之間的距離關係並與理論模擬做比較。

#### Reference:

[1] Dynamics of conical wire array Z-pinch implosions (PHYSICS OF PLASMAS 14, 102704 2007)

## 附錄

### 觸發訊號產生器程式碼

```
int TLED = 8;      trigger LED 腳位
int SLED = 7;      stand by LED 腳位
int t0 = 0;        trigger LED 初始值
int s0 = 0;        stand by LED 初始值
int t1 = 0;        trigger 前一時間的值
int s1 = 1;        stand by 前一時間的值
int t2;           trigger 當前時間的值
int s2;           stand by 當前時間的值
int triggerpin = 2; trigger 腳位
int standbypin = 4; stand by 腳位
int st;           s2-s1
int tt;           t2-t1

void setup()      腳位等系統設定
{
  pinMode(TLED, OUTPUT);      trigger LED 腳位模式設定
  pinMode(SLED, OUTPUT);      stand by LED 腳位模式設定
  pinMode(triggerpin, INPUT);  trigger 讀取腳位模式設定
  pinMode(standbypin, INPUT);  stand by 讀取腳位模式設定
  Serial.begin(9600);         設定通訊速率
}

void loop()      主迴圈
{
  t2 = digitalRead(triggerpin);  讀取開關狀態(斷路為 0，通路為 1)
  s2 = digitalRead(standbypin);
  st = s2-s1;                  判斷是否有扳動開關或按下按鈕
  tt = t2-t1;

  if (s0==0)                  s0=1 才能送訊號
  {
    if(st==1)                  此判斷式表示開關撥桿從 off 到 on
    {
      s0 = 1;                  這裡是唯一有機會將 s0 變為 1
    }
  }
}
```

<pre> s1 = s2; digitalWrite(SLED, s0); } else { s1 = s2; } } else { if (st==-1) { s0=0; digitalWrite(SLED, s0); s1 = s2; } elseif (tt==1) { t0=1; digitalWrite(TLED, t0); delayMicroseconds(1250); digitalWrite(TLED, 0); t1 = t2; s0 = 0; digitalWrite(SLED, s0); } else { t1 = t2; } } } </pre>	<p>將 stand by 前一時間值=現在值 stand by LED 亮</p> <p>將 stand by 前一時間值=現在值</p> <p>此判斷式表示開關撥桿從 on 到 off</p> <p>stand by LED 暗 將 stand by 前一時間值=現在值</p> <p>此判斷式表示觸發按鈕按下</p> <p>trigger LED 亮 亮 1.25ms trigger LED 暗 將 trigger 前一時間值=現在值</p> <p>stand by LED 暗</p> <p>將 trigger 前一時間值=現在值</p>
---	--