

國立成功大學

太空與電漿科學研究所

電漿演示器具使用方法

**National Cheng Kung University**

**Institute of Space and Plasma Sciences**

研究生:陳國益 Kuo-Yi Chen

2018

指導教授:張博宇 Po-Yu Chang

## 摘要

電漿演示實驗是為教授製作的上課時使用的演示器材，通常開在電漿所 3 學分的電漿應用或寒暑假的 1 學分模組化課程，結至 2018 年 8 月共有五種不同的實驗，若未來有增減再請學弟妹們幫忙修改檔案。五項分別為。一：磁控直流濺鍍機、二：星球極光模擬器、三：磁鏡磁化電漿、四：DBD 大氣電漿、五：Tokamak 環磁機。本檔列出以上實驗所需的器材、原理、與使用方法。

## 目錄

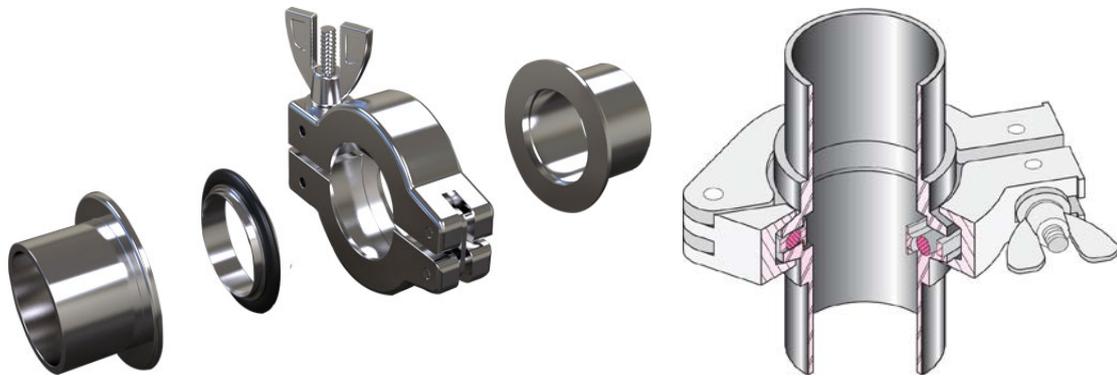
- 一. 共用器材、非通用器材
- 二. 磁控直流濺鍍機
- 三. 星球極光模擬器
- 四. 磁鏡磁化電漿
- 五. DBD 大氣電漿
- 六. Tokamak 環磁機

# 一. 共用器材

共用器材是至少有兩套以上實驗會使用的物品，主要分成真空系統與高壓電源兩大類，其中除了 DBD 大氣電漿以外其他皆會使用真空系統，而高壓系統則是全部皆會使用。要注意真空系統除了 PUMP 以外其他皆屬於耗材如:O-ring、clamp、tube、電極等等，若有毀損或缺失煩請採購補上。

## 一:真空系統

真空系統由 PUMP(真空泵)與管線構成，PUMP 負責抽氣與排氣、管線負責連接 PUMP 與實驗器材，使用前務必確認管線是否連接妥當與檢察氣密是否良好，橡膠墊圈與 O-RING 需上油使用。我們使用的管線連接法是 KF 快拆系統組成，常用規格只有兩種 KF-16 與 KF-25，構成原理為 tube 對 tube 中間由 o-ring 氣密，外部由 clamp 逼緊，連接方法由下圖所示基本上只要注意尺寸就不太可能裝錯。



(KF-快拆管件連接方法)



(實驗室通用的真空耗材)

上圖為我們常使用的 KF-快拆管件，上方白色陶瓷物為真空電極是 KF-16 接口，左側柱狀物為真空量測管目的是測量當前真空值。下方十字型是真空四通管，目的是接通各部件的聯通，右側則是 KF-25 與 KF-16 兩種規格的 O-RING 與 clamp。



(實驗室目前使用的 PUMP)

上圖是我們實驗室使用的 PUMP，已經將接口從軟管轉接成 KF-16 的標準接口，所以跟上方的連接管件搭配就可以接上實驗器材，這台的抽氣能力大概可以達到  $10^{-2}$ torr(或  $10^0$ Pa)，若抽很久都抽不下去請檢查氣密是否正常或管線是否正確連接。

二.高壓電源:高壓電源粗為兩種直流高壓電源與交流高壓電源，磁控濺射與極光模擬器使用直流高壓電源，而大氣放電、Tokamak、磁鏡則是使用交流高壓電源，直流高壓電源調整旋鈕即可調整輸出，而交流高壓電源則需要搭配變壓器使用調控輸出。



(直流高壓電源)

上圖為直流高壓電源，請連接 220V 市電，切記電源鈕一但按下就會開始輸出，電壓控制就算歸 0 電壓也會有 2000V 左右請確定儀器全部接好再按下開關，左側是保護旋鈕沒有作用亦請維持在歸 0 的狀態，輸出線一正一負請按需求連接至儀器。



(交流高壓電源)

上圖為交流高壓電源，輸出端的兩條線並沒有正負之分，左側為安全旋鈕，右側為電壓控制旋鈕，兩顆旋鈕都請別動。這台功率過大旋鈕即使歸 0 輸出依然太大，因此我們使用變壓器來控制它的輸出功率。



(無段變壓器)

上圖是無段變壓器，請搭配交流高壓電源使用，將高壓電源的插頭插上變壓器，將電壓控制在 100~150V 左右使用，太高輸出太強可能會燒毀儀器，請小心使用。

器材應有數量:

數量	DCHV	ACHV	變壓器	PUMP	四通	真空計	夾具	O-RING	電極	寶塔頭
	2	2	1	2	1	1	>5	>5	1	1

其中夾具與 O-RING 為消耗品，KF25 與 KF16 規格維持在 5 個以上。

## 非通用器材

一.真空瓶:真空瓶是大賣場買的玻璃瓶，使用鑽石鑽頭鑽了一個 KF25 開口規格的瓶子，使用在磁控濺射實驗上。



(真空瓶)

二.磁控磁鐵組:這是一個中心錠型磁鐵外環形磁鐵的磁鐵組，兩個磁鐵的極性在同一面相反，使用在磁控濺射實驗上目的是控制電將轟擊區域。



(磁控磁鐵)

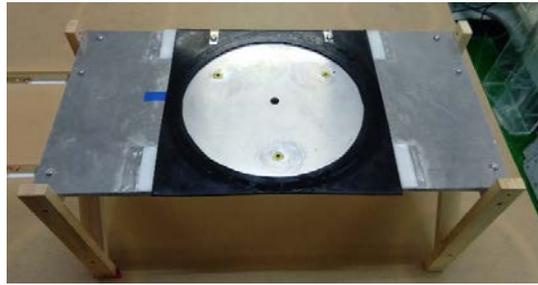
三.15cm 底板:作為電極使用的底板，使用在磁控濺射與 DBD 實驗中。



四.固定列印件與橡膠墊片，固定真空瓶在底板上的位置與氣密。



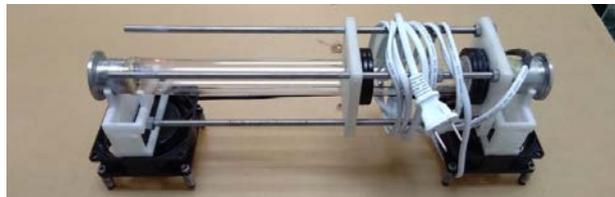
五.50 公分底板與橡膠墊片:使用在極光模擬實驗的平台，與鐘罩一起使用創造真空環境，板上有 3 個電極孔，可以插入不同電極柱與放電球。



六.電極柱與放電球:有兩根不同高度的放電柱與兩根不同高度的放電球組，放電球組內鑲有磁鐵模擬地磁的磁力線。



七.磁鏡管:由石英管組成的真空腔，外面有 2 組可動環形磁鐵提供磁場，石英管兩側是 KF25 法蘭，下方各有一組散熱風扇，為磁鏡磁化實驗使用。



八.支撐列印件:支撐玻璃使其與電極保持距離的列印件，用於 DBD 放電實驗。



九.tokamak 燈管:由無極燈管製成的實驗器材，外面包覆 22 顆磁鐵，並且中間有兩個純銅環作為電極。

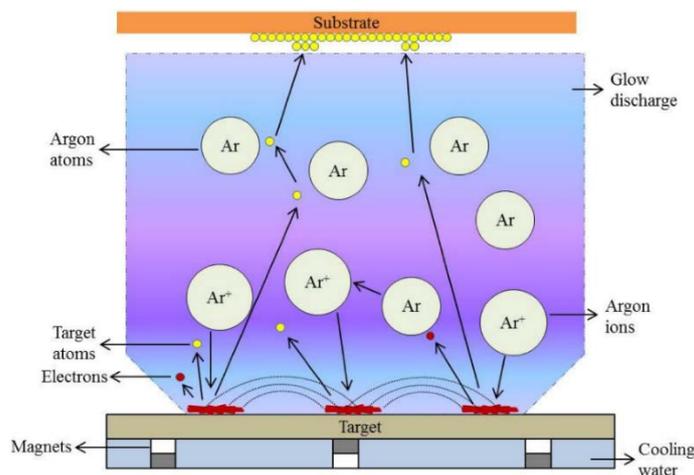


非通用器材清單:

真空瓶	15cm 底板	磁控磁 鐵組	密封列 印件	鐘罩	50cm 底板	放電柱	磁鏡管	支撐列 印件	Tokamak 燈管
1	1	1	1	1	1	4	1	1	1

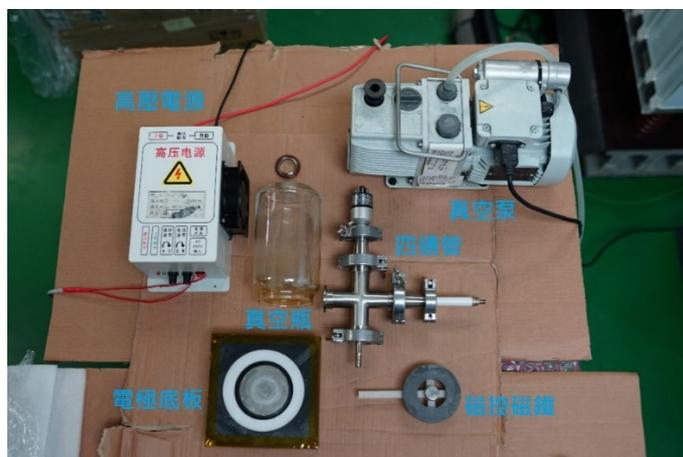
## 二. 磁控直流濺鍍機

濺射(sputter)是一種利用電漿使用物理式的方法將目標靶材打飛四濺，常使用於鍍膜產業，例如眼鏡、相機鏡頭、濾鏡等等光學產業，或超導體成膜等等科學研究使用。基礎原理為使用高電壓將工作氣體游離產生電漿，電漿中較重的陽離子會受到電場牽引而加速獲得能量，並撞上陰極將陰極的材料撞擊出來。而磁控濺射則是使用佛萊明右手定則，利用磁鐵的磁場控制電荷的路徑達到限制轟擊區域的效果。



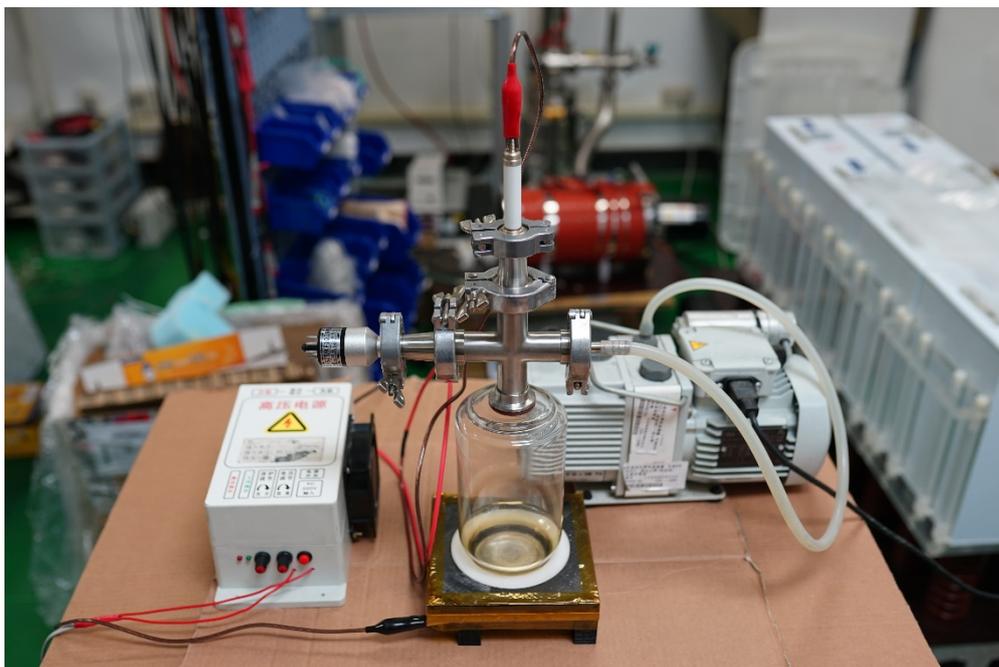
(磁控濺射圖解)

上圖是磁控濺射(magnetron sputter)的原理示意圖，為了防止汙染真空腔內使用 Ar 作為工作氣體，將靶材(鍍物)接上負極，而基板(被鍍物)接上正極。然後通電產生氬電漿轟擊陰極，並在負極的下方放上磁控磁鐵控制轟擊的區域與範圍。



(磁控濺射機所需的器材)

上圖是磁控濺射演示實驗所需的器材，玻璃真空罐製造真空環境，高壓電源負責產生電漿，磁控磁鐵則是控制電漿轟擊範圍。



(將儀器組裝起來的樣子)

上圖是磁控濺射機裝起來的樣子，將真空罐放到金屬底板上壓在黑色的橡膠墊片上氣密，在上方連接真空四通管，分別接上電極、真空泵、真空計，然後抽真空。電極的部分接上正極，底板的部分接上陰極然後接地。待觀察到真空計的讀值降到  $10^1\text{Pa}$  以下後就可以開啟電源產生電漿，此時可以將磁鐵放入下方移動讓同學們觀察磁控電漿轟擊。

材料清單:

真空瓶	15cm 底板	四通管	電極	真空計	PUMP	DCHV
1	1	1	1	1	1	1

使用方法:

1. 將四通管一端接上真空計並將真空計接上讀取頭，一端接上寶塔頭並連接至真空罐，頂端則接上電極備用。
2. 將 DCHV 的負極連接至底板下方，正極連結至四通管的電極上。
3. 將真空瓶使用白色 3D 列印件與黑色的橡膠墊片安裝到底板上。
4. 使用 KF25 中心圈與 O-RING 將四通管暫時用手固定在真空瓶上。
5. 打開真空泵開始抽氣，待真空度下降到  $10^1\text{pa}$  以後即可放手此時負壓會自動把四通管固定在罐體上。
6. 待真空度下降到  $10^0\text{Pa}$  以後即可打開 DCHV 開始放電進行實驗。

備註:

1. 請使用絕緣膠帶纏住**正極絕緣**，並將**負極接地**。
2. 不要在任何一端**沒接上負載**或**沒抽真空**的狀態下開啟 DCHV
3. 拆下來時絕對不可以在**手沒有扶著四通管**的狀態下關閉 PUMP，以免破真空導致**負壓消失**造成四通管倒塌毀損器具。



(磁控濺射放電時的狀態，可以看到橘紅色的電漿被磁鐵凝聚在負極處)

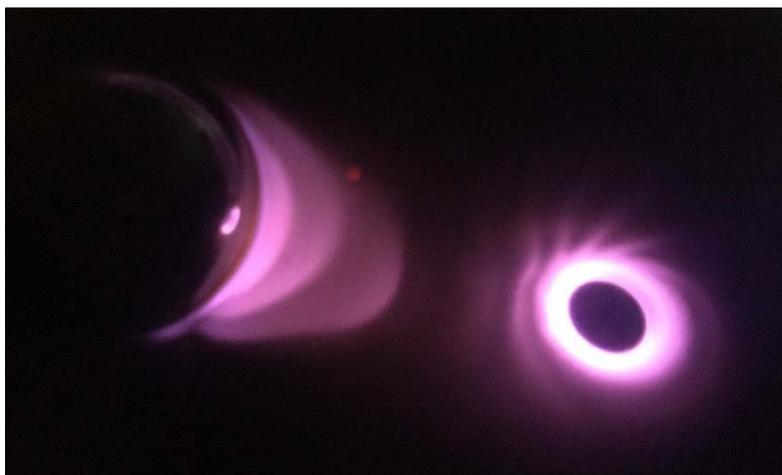
### 三. 星球極光模擬器

星球極光模擬器(Planeterrella)，是在真空環境中放入金屬球並在內部裝入磁鐵模擬星球磁場，並且接上高電壓產生電漿使得電漿被磁場侷限以模擬極光現象。



(Planeterrella 的真空腔)

Planeterrella 的真空腔是個鐘型的玻璃罩，但由於這個玻璃罩的作工並不是很好所以底部有點不平，想要氣密必須要對準位置，已經在玻璃罩上貼上有色膠帶，請將膠帶的位置對準底板材可以抽真空否則會漏氣。腔體的抽器孔位於底板下方，做了一個 KF25 的接口，請將四通管接上後接入真空計與 PUMP。金屬底板上做了三個香蕉接口，請將連接柱與鐵球連接上去，待真空度下降到  $10^1\text{Pa}$  以下即可進行放電。電極的配置隨意，根據實驗需求不同做不同接法可大球接正小球接負，也可顛倒過來或底板接負，只要兩條輸出不要同時碰在一起即可。



(Planeterrella 放電時的樣子)

材料清單:

大鐘罩	50cm 底板	四通管	電極柱	真空計	PUMP	DCHV	放電球
1	1	1	2	1	1	1	2

使用方法:

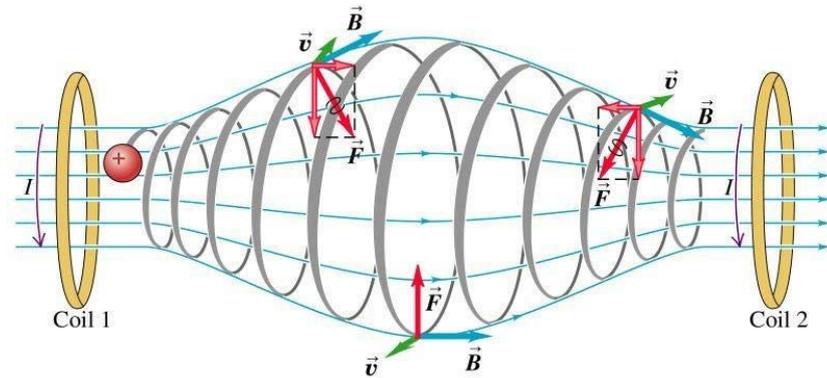
1. 將四通管一端接上真空計並將真空計接上讀取頭，一端接上寶塔頭並連接至底板下方的 KF25 接口。
2. 將真空鐘罩使用黑色的橡膠墊片安裝到底板上，並注意位置。
3. 打開真空泵開始抽氣，因為鐘罩不平所以使用手稍微下壓鐘罩幫助抽氣。
4. 待真空度下降到  $10^0\text{Pa}$  以後即可打開 DCHV 開始放電進行實驗。

備註:

1. 不要在任何一端沒接上負載或沒抽真空的狀態下開啟 DCHV
2. 絕對不要將正負兩條件同時接在同一顆球或板子上

## 四. 磁鏡磁化電漿

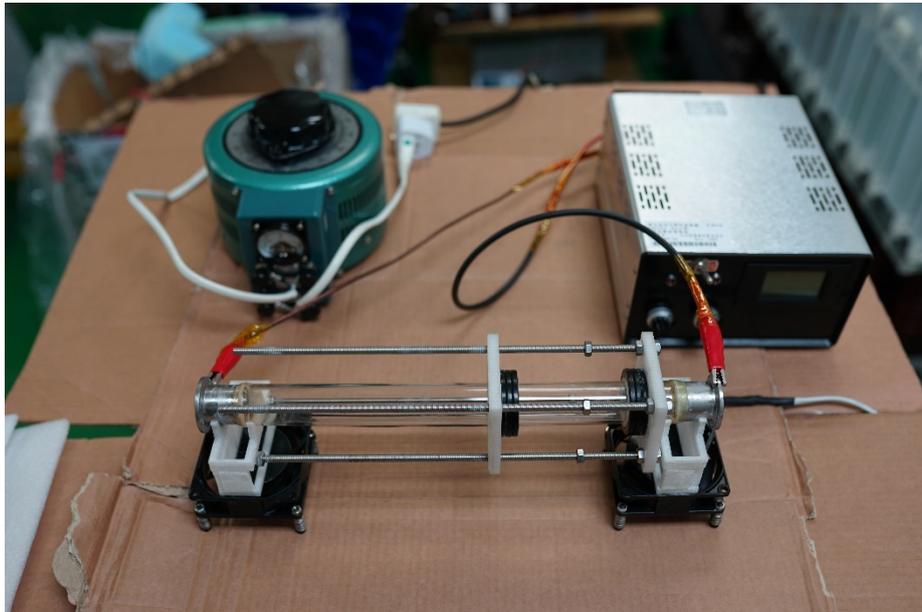
磁鏡磁化電漿(Magnetic Mirror)，是在空間中建立一形狀對稱的磁場結構，磁場兩側較強中間較弱，能量小於臨界點的帶電粒子在磁鏡中運動時會在靠近兩極的部分被反彈回來，導致電漿被侷限在磁鏡中。



Copyright © 2004 Pearson Education, Inc., publishing as Addison Wesley.

(磁鏡的磁場結構)

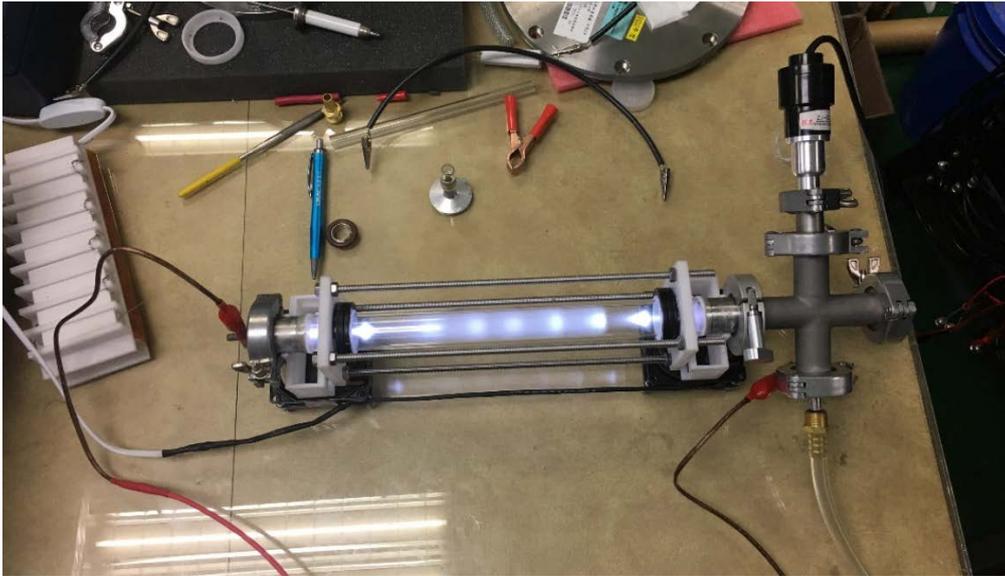
上圖是磁鏡的磁場分布(藍線)，灰色是帶電粒子的運動軌跡，當帶電粒子靠近磁場較強的兩端時，會獲得反向的動量因而轉向。



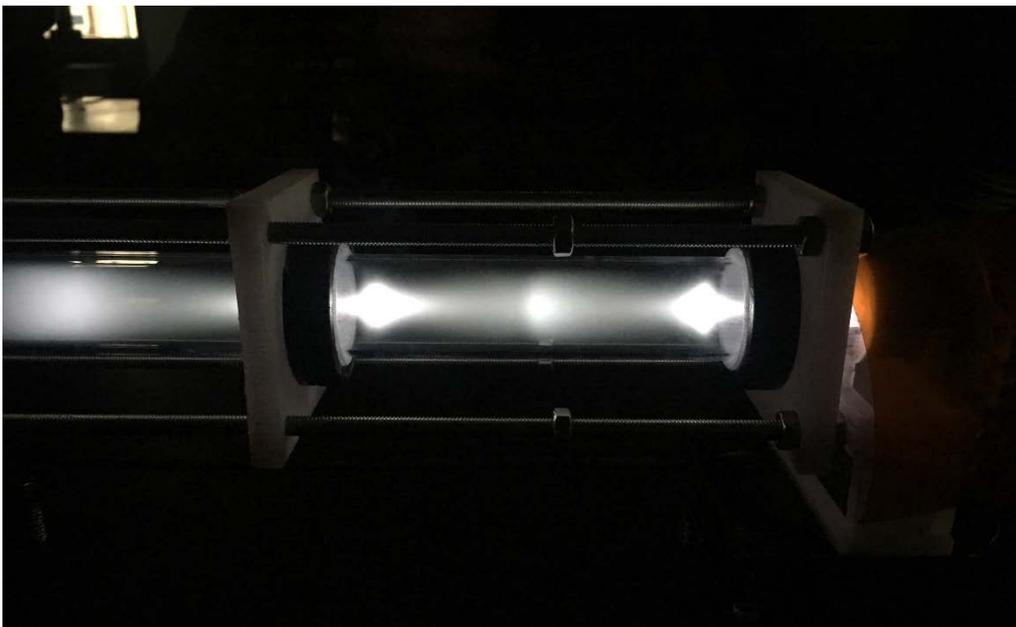
(磁鏡實驗使用的器材與配置)

上圖是磁鏡實驗所需要的器材與配置，需準備無斷變壓器、pump、真空計、交流高壓電源與磁鏡模組。磁鏡的本體是一個石英管，在兩端接上 KF25 的快拆接

頭並在石英管鑲入可移動的環形磁鐵製造磁場。由於放電時會發熱，為防止電極接點脫落所以在下方裝置兩台風扇散熱。使用時請將 PUMP 與真空計接在兩端的 KF 快拆上，兩條電極則接在石英管兩端的法蘭上其中一端接地另一邊使用 kpton 屏蔽，抽真空至  $10^1\text{Pa}$  以下後打開散熱風扇後即準備完成。開啟電源時請將交流高壓電源接上無段變壓器上，並且變壓器插上 110 的插座。準備妥當後旋轉變壓器調節鈕大約在 100~150V 左右時電漿被點起來，電漿點起來後將電源控制在可維持放電的最小伏特數大約 90~120 左右。此時可以戴上橡膠手套移動磁鐵的位置觀察磁鏡的變化。



(磁鏡的配置與放電時的狀態)



(調整磁鐵的間距可以看到多種變化)

材料清單:

磁鏡管組	四通管	變壓器	真空計	PUMP	ACHV
1	1	1	1	1	1

使用方法:

1. 將四通管一端接上真空計並將真空計接上讀取頭，一端接上寶塔頭並連接至 pump，將四通管連接至石英管其中一端的法蘭
2. 將石英管另一端使用盲板法蘭封閉。
3. 將石英管的散熱風扇插上電並打開。
4. 將 PUMP 打開並待真空度下降到  $10^0\text{Pa}$ 。
5. 將 ACHV 輸出線連接到石英管兩端找 CLAMP 夾住
6. 將 ACHV 輸入端接上無段變壓器，並將無段變壓器接上插座
7. 慢慢旋轉變壓器至 110~150V 點起電漿，然後下降到約 90~120V 維持。
8. 改變磁鐵的位置觀察電漿的變化

備註:

1. 絕對不要關閉風扇避免真空膠受熱軟化瞬間破真空導致危險
2. 絕對不要在輸出時用手同時觸摸石英管兩端
3. 雖然摸到沒關係，但請戴手套再移動磁鐵
4. 不要讓磁鐵間距小於 0.5cm 以免吸住拔不開

## 五. DBD 大氣電漿

介電質阻擋放電(Dielectric barrier discharge)又稱 DBD，是在 1 大氣壓下也可以產生穩定電漿的方法。其原理是使用高頻交流電源兩極中間夾入玻璃等等絕緣體，使用感應起電的方法在表面形成許多細小的電漿通道形成穩定放電，常使用在大氣電漿清洗製程上，或是最新的生醫治療上。需要的器材有金屬底板、玻璃片、兩個 KF 對焊法蘭、無段變壓器、交流高壓電源、3D 列印的支撐材料。



(DBD 所需的器材)

先將變壓器與電源接好，並把上圖白色的列印件裝在底板上把 KF25 的對焊法蘭裝上在裡面，底板接上高壓電源，另一個對焊法蘭也裝上高壓電源。將玻璃板放上白色的列印件上，玻璃應該會與法蘭有 2mm 的間距，此時將另一個法蘭也放在玻璃板上，再打開無段變壓器即可開始放電。



(DBD 放電時的模樣)

材料清單:

玻璃板	15cm 底板	變壓器	KF 電極	支撐列印件	ACHV
1	1	1	2	1	1

使用方法:

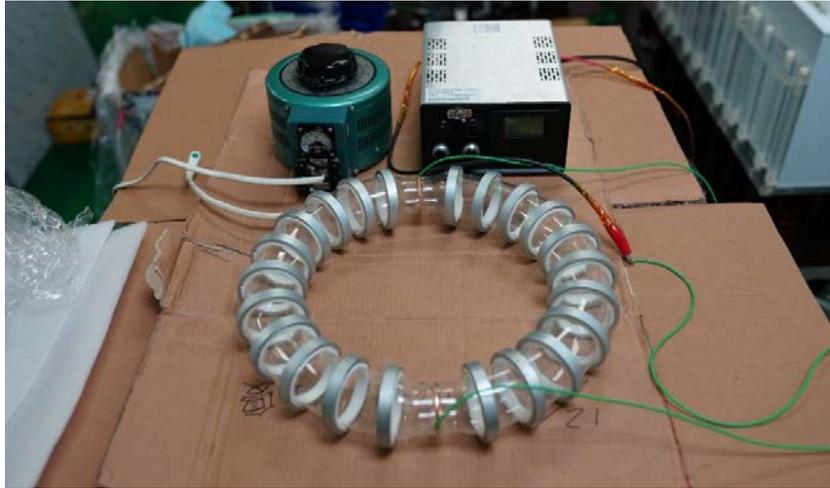
1. 將白色環形列印件放到底板上安裝，該列印件是確保玻璃與金屬電極有約 1~2mm 的間距方便放電的。
2. KF25 對焊法蘭放到列印件中央，並確保法蘭碰觸到金屬底板。
3. 將 3~5mm 玻璃片放到列印件上，並觀察是否與法蘭有 1~2mm 間距
4. 將另一個法蘭放到玻璃片上方。
5. 將 ACHV 兩條輸出線一條接在底板，一條接在玻璃上面的法蘭。
6. 將 ACHV 輸入端接上無段變壓器。
7. 慢慢打開無段變壓器直到產生穩定電漿此時會聽到嘶嘶聲與聞到臭氧味。



(可以使用手去碰觸讓手與玻璃表面形成通道)

## 六. Tokamak 環磁機

Tokamak 是在環形的容器裡建立環形的磁場來限制電漿的範圍，使其不要撞擊到腔壁產生侵蝕，其最終目的是將電漿限制並壓縮在極細的範圍內產生核融合反應。我們的 Tokamak 展示機使用透明的環形燈管並在外面包覆環形磁鐵，使其在內部產生環形的磁場模擬環磁機的運作。需要的器材為 pump，環形燈管與磁鐵套組、交流高壓電源、無極變壓器。



(tokamak 的器材配置)

首先將 pump 以軟管連結至環形燈管內側的玻璃嘴抽真空，並將高壓電源的兩極接上燈管兩邊埋入的銅環電極。待真空度抽到  $10^1\text{Pa}$  以下即可轉動無段變壓器開始放電，此時可以看見電漿環在燈管內繞行。

材料清單:

Tokamak 燈管組	變壓器	真空計	PUMP	ACHV
1	1	1	1	1

使用方法:

1. 將 PUMP 的軟管塗抹真空膏，並接上玻璃燈管內側的接口。
2. 打開真空幫浦開始抽氣。
3. 將 ACHV 的輸出端接上兩個銅電極。
4. 將 ACHV 的輸入端接上無段變壓器。
5. 將無段變壓器慢慢打開直到產生穩定電漿，並慢慢迴轉維持最小功率。

備註:

1. 絕對不要同時觸摸到兩個銅電極。
2. 絕對不要攜帶磁性物質靠近燈管，避免被強力磁鐵吸過去打破燈管造成瞬間破真空爆炸。