

中華民國第 57 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高級中等學校組 物理與天文學科

第三名

051803

與電共舞-電場對火焰影響之研究

學校名稱：新竹市立建功高級中學

作者： 高二 吳嘉輝 高二 周靖榮 高二 劉騏鋒	指導老師： 魏君津
---	------------------

關鍵詞：電場、離子風、火焰抑制

摘要

本研究利用火焰易與電場耦合作用的特性，全程使用丁烷本生燈製造擴散焰，並利用高壓變壓器轉換出直流高壓電所產生的電場，施於平面電極(plane-plane)、針型電極(plate-plane)【1】，然後分別改變各種變因等，再對受干擾之火焰以及針型電極產生之離子風風速個別進行數據測量並做比較。為了量化數據，我們以Measure、ImageJ 程式測量火焰之角度、面積分析數據，並找出火焰有最大干擾時的架設法，期望找出有別以往的滅火方法。最後，以自藕變壓器接霓虹燈變壓器，利用研究結果得到的架設法，調整到想要的電壓、距離等變因，作出能隨身攜帶可壓抑火焰之器具。

壹、研究動機

火災向來是人們的噩夢，當大火在住宅工廠任意肆虐時，人們失去了財產、家人、甚至是自己的性命。傳統的滅火方法有諸多缺點和限制，例如常使用的「水」，在某些情況下反而容易弄巧成拙，造成反效果，也會對環境造成負面的影響。我們查閱許多文獻資料後，發現火焰容易與電場耦合作用，產生強烈干擾，甚至有熄滅的可能。如果能以強電場控制火焰，能避免直接接觸，也不易留下有毒泡沫等後遺症。因此我們由此出發，開始了電場與火焰的相關研究與探討。

貳、研究目的

一、平面電極(均勻電場、不產生離子風)：

- (一) 試證明不管施加正電壓或負電壓，對火焰的干擾是一致的。
- (二) 測量火焰在不同電壓大小下的偏折角度、面積。
- (三) 測量火焰在不同極板間距下的偏折角度、面積。
- (四) 測量火焰在不同火焰位置下的偏折角度、面積，試證明兩極板間的電場近似均勻。

二、針型電極(非均勻電場、產生離子風)：

- (一) 測量在施加正電壓或負電壓下，對火焰干擾的差別。
- (二) 測量火焰在不同電壓大小下的偏折角度、面積。
- (三) 測量火焰在不同電極間距下的偏折角度、面積。
- (四) 測量火焰在不同針型電極數量下的偏折角度、面積。
- (五) 測量火焰在不同火焰位置下的偏折角度、面積。
- (六) 測量火焰在不同針型電極高度下的偏折角度、面積。
- (七) 測量變動部分變因後的離子風風速(產生於針型電極)，找出離子風強度和部分變因的關係。

三、比較上述實驗數據，找出火焰抑制效果最佳的架設方式，製作能壓抑火焰之器具。

參、研究設備及器材

(一)器材清單：

表 3-1 研究設備及器材

通用實驗器材	單眼相機 Nikon D5100	1 台
	正負高壓電源供應器	2 台
	廣用夾	6 支
	鐵架	4 支
	壓克力板	2 片
	鱷魚夾線	數條
	珍珠板	2 片
	保麗龍	數片
	布幔	數片
	封箱膠帶	1 捲
平面極板實驗	陶瓷極板	2 片
	實木木條	12 支
	網格墊板	1 片
	絕緣膠帶	1 捲
	鋁箔膠帶	1 捲
	電子點火本生燈	1 台

針型電極實驗	John James 手縫針 002	3 根
	塑膠底座	1 個
	漆包線	數捲
	網格墊板	1 片
	絕緣膠帶	1 捲
	鋁箔膠帶	1 捲
	電子點火本生燈	1 台
離子風風速測量 實驗	熱線式風速計	1 台
	塑膠底座	1 個
	漆包線	數捲
	絕緣膠帶	1 捲
	鋁箔膠帶	1 捲
	寶特瓶	1 瓶
自製實驗器具	鐵芯式霓虹燈變壓器	1 台
	自耦變壓器	1 台
	橋式全波整流電路	1 台

(二)平面電極、針型電極：

- 1.平面電極：面積 $20*20\text{ cm}^2$ 的陶瓷板，後方以木條固定，前方以鋁箔膠帶包覆。
- 2.針型電極：使用「John James 手縫針 002」，每根針型電極間距 3 公分，排列成正三角形。



圖 3-1 平面電極

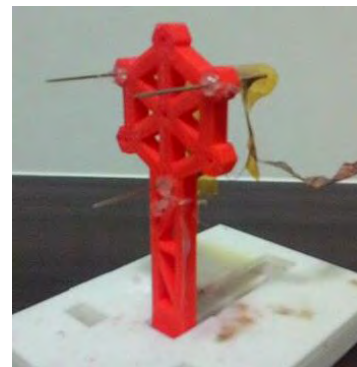


圖 3-2 針型電極

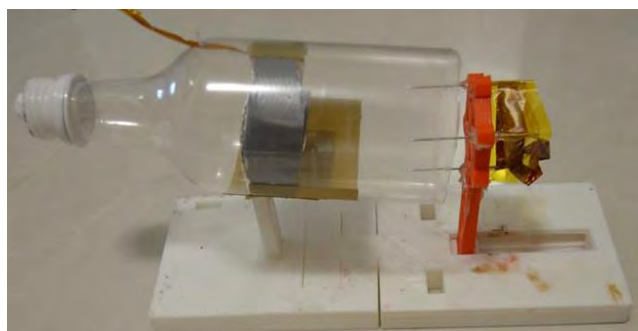


圖 3-3 離子風風速測量設備(針型電極)

3.離子風風速測量設備：瓶身與內部接地鉛環直徑 7cm，將瓶口(出風口)限縮為直徑 1cm。由於此實驗設備所測之離子風風速，在隨後的實驗中僅做對照用，因此我們只有看風速彼此間的大小關係，而非換算成實際的風速大小(瓶口限縮會增加流速)。

(三)自製之電源供應器：



圖 3-4 霓虹燈變壓器



圖 3-5 自耦變壓器

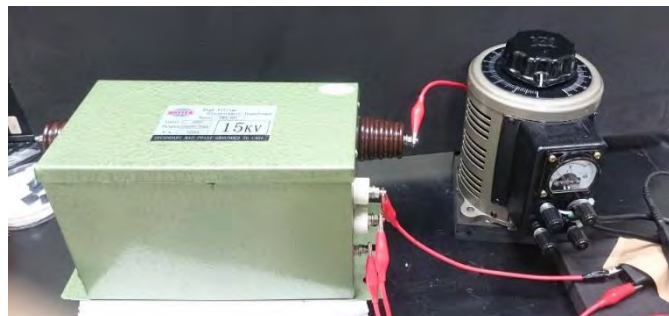


圖 3-6 自製之變壓器

肆、研究過程及方法

一、實驗原理：

(一)均勻電場：

帶等量異性電的平行板間(平面電極)為一均勻電場，電場強度處處相等，方向相同。電力線是一組間隔相等的平行線，等位面是一組與電力線處處垂直的平面，愈靠近正極板的電位愈高，愈靠近負極板的電位愈低。【2】

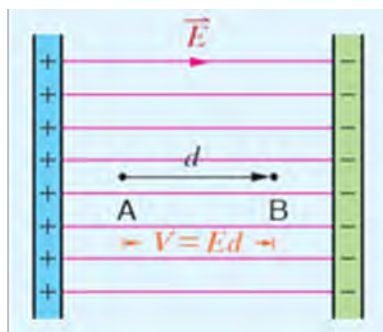


圖 4-1 平行電場示意圖

電場強度公式： $E = F/q$

E ：電場強度(N/C)；

q ：電荷的電量(C)

均勻電場強度公式： $E = U_{AB} / d$

U_{AB} ：AB 兩點間的電壓(V)；

d ：AB 兩點在場強方向的距離(m) 【3】

(二)針型電極、離子風：

針形電極產生之電場相異於均勻電場（實驗原理(一)）的部分，在於針尖會累積大量電荷。針尖曲率半徑較小，電荷密度較大，電場較強，附近的中性空氣分子容易受到極化而電離。如果導體尖端帶正電，空氣分子即因正電尖端帶走其電子而成為正離子，此時正離子與正電尖端互斥，而加速離開，這些正離子同時帶動空氣流動，並不斷使填補至正極尖端附近的空氣電離，重覆進行此過程，造成的效果就是正電導體尖端附近的空氣源源不斷產生正離子。反之，尖端如果帶負電結果亦然。【4】【5】

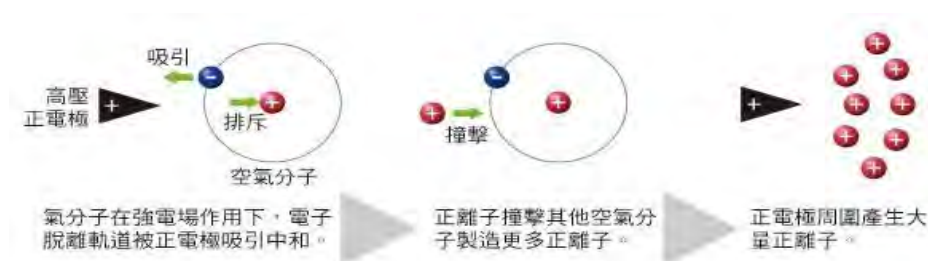


圖 4-2 針型電極產生離子風示意圖

(三)火焰偏折：

火的可見部分稱作焰，可以隨著粒子的振動而有不同的形狀，在溫度足夠高時能以電漿體的形式出現【6】。除了會產生電漿之外，火焰燃燒不完全時會產生碳黑(soot)，而碳黑易以正離子作為核心帶正電，而負離子則有中和正離子、減少碳黑產生的傾向【7】。在電場的干擾下，這些離子會受到擾動，導致火焰會有偏移、變形的現象。而在種種離子、電子、碳黑的運動下，由於正離子質量大於負離子，火焰所受的合力方向大致偏向負極，也就是遠離正極【7】。

而關於火焰偏向負極的原因，還有另一套解說方式。

燃燒反應： $\text{Fuel} + \text{O}_2 \Rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{Energy}$

解離反應： $\text{Fuel} \Leftrightarrow \text{Fuel}^+ + \text{e}^-$

火焰的燃燒反應產生了大量熱能，使溫度高到足以讓火焰的燃料解離，分離出正離子和自由電子。

氧氣帶電反應： $O_2 + e^- \rightleftharpoons O_2^-$

在電場的作用下，這些正離子和電子開始往不同方向運動。但電子一與空氣接觸，就會和氧氣作用使氧氣帶電，進而被帶離火焰本身，使得火焰總電荷帶正電。導致了火焰向負極偏離的傾向。【8】

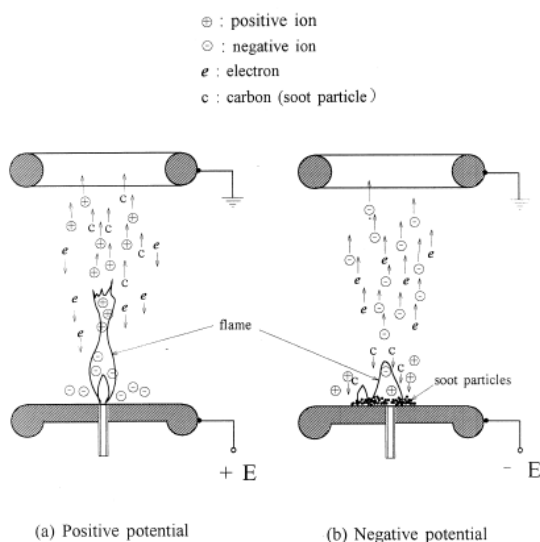


圖 4-3 火焰離子運動示意圖(非本實驗架設)

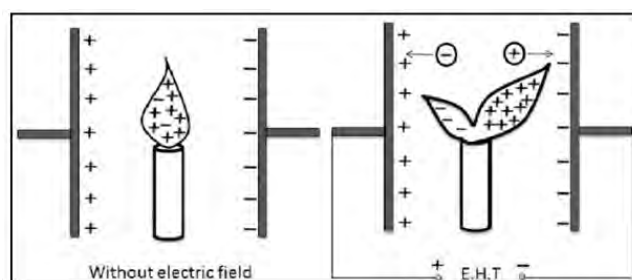


圖 4-4 火焰離子運動示意圖(平面電極)

(四)火焰的類型：

火焰分為兩種，一種是擴散焰，一種是預混焰。

擴散焰，它的燃燒現象完全由氣體分子的擴散行為來主導。主要反應區域為與空氣擴散接觸的火焰表面。

預混焰，它代表著燃料分子和氧化物分子必須在燃燒反應之前預先混合，因此兩者同時存在並均勻混合於預混火焰上游。

由於一般火災現場產生的火焰大多是擴散焰，因此本研究使用丁烷本生燈製造擴散焰，加以進行實驗。另外本生燈的溫度大約在攝氏 900 至 1600 度之間，取決於空氣閥的開關。【9】

(五)火焰干擾程度定義：

為量化電場對火焰(擴散焰)的干擾，我們收集火焰面積及偏折角度的數據來觀察。

火焰面積：火焰面積越小，其可與空氣中的氧化劑擴散接觸的面積越小，會進而壓抑燃燒反應

火焰偏折角度：隨施加電場的增強，火焰會偏離火源越來越遠，作為

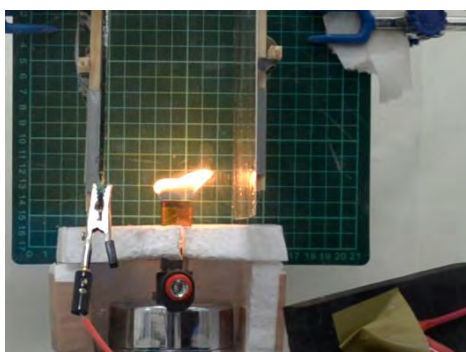


圖 4-5 火焰干擾示意圖



圖 4-6 火焰中心軸定義

其反應來源的燃料會越來越難供應，也會進而壓抑燃燒反應。

測量**面積**時，則取火焰最底部至上部亮區一帶，進行面積測量。

測量**偏折角度**時，取未受干擾之火焰，最上方尖端處一直到火焰最底根部的連線為中心軸。偏折軸則取火焰受干擾後，最上方尖端處一直到火焰根部的連線。而兩者之夾角即為偏折角度。

在「平面電極」的情況下，以偏離正極方向的角度為正值，偏離負極為負值；在「針型電極」的情況下，因為有離子風吹散火焰的力量在，不管電壓正負，火焰普遍會傾向遠離針型電極，因此我們以偏離針型電極的角度為正值，反之為負值。

(六)火焰偏折角度、面積測量方法 Measure & ImageJ：

實驗完成後，測量**偏折角度**的部分利用 Measure 來進行。選擇角度測量工具，固定一邊在火焰中心，稱之為中心軸；另一邊則為偏折軸。當電場或離子風干擾火焰時，適當調整偏折軸，使其重合於偏折後火焰之端點到底部的連線，即可在數據區看到目前的火焰偏折角度。並在每筆數據收集時，取 10 個圖像測量來取平均值。

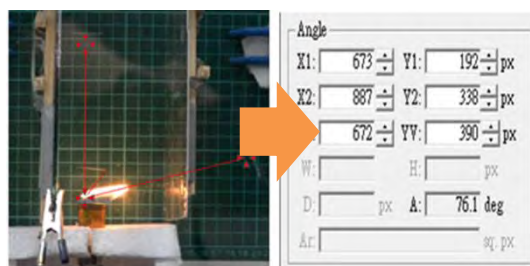


圖 4-7 火焰測量方式(左:中心軸 右:偏折軸)

測量**面積**的部分利用 ImageJ 來進行。因為火焰是動態的，我們取資料中 10 個圖像測量，然後取平均值。

首先開啟圖像檔案，利用背景的網格墊板作為依據，設定比例尺，比例尺用來把電腦螢幕上顯示的像素多寡換算成實際距離。接下來開啟待測火焰的圖像，把圖像調成 8-bit 的形式，以利電腦分辨光亮點，自動找出火焰位置，選擇調整中的設定區域，再調整下方的兩個滾軸，使電腦分辨出的紅色面積剛好覆蓋於火焰。最後利用計算的功能，加總紅色面積覆蓋區域，也就是我們所要測量的火焰面積。利用此方法在每一筆火焰資料中收集面積數據。



圖 4-8 8-bit 圖像形式

60x80 pixels; 8-bit; 5K



圖 4-9 火焰範圍選取

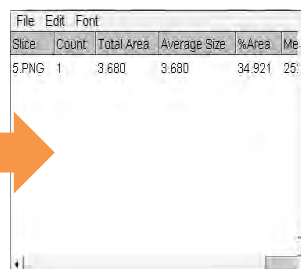


圖 4-10 面積數據收集

(七)自製電源供應器：

除了在實驗室裡使用的高壓電源供應器之外，我們希望能做出可隨身攜帶，價格便宜的電供。利用輸出電壓 0~220V 60Hz 之自耦變壓器(Variable Transformer)連接輸出可達 15kV 之霓虹燈變壓器(Neon Sign Transformer)，然後外接上圖 4-16 的橋式全波整流電路，並利用示波器測量和調整電壓，匯流出所需的正高壓電。

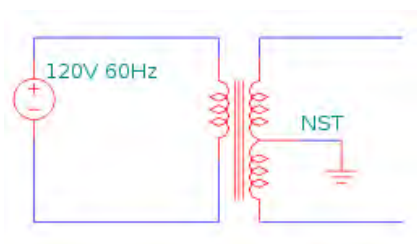


圖 4-11 霓虹燈變壓器示意圖

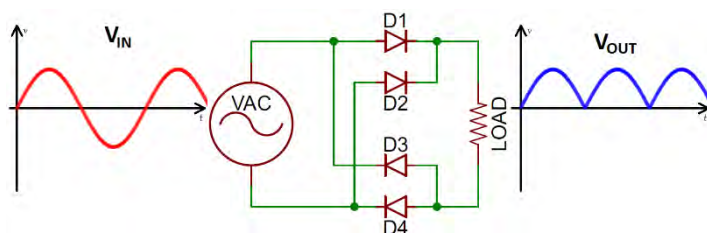


圖 4-12 橋式全波整流電路示意圖

三、研究過程及方法：

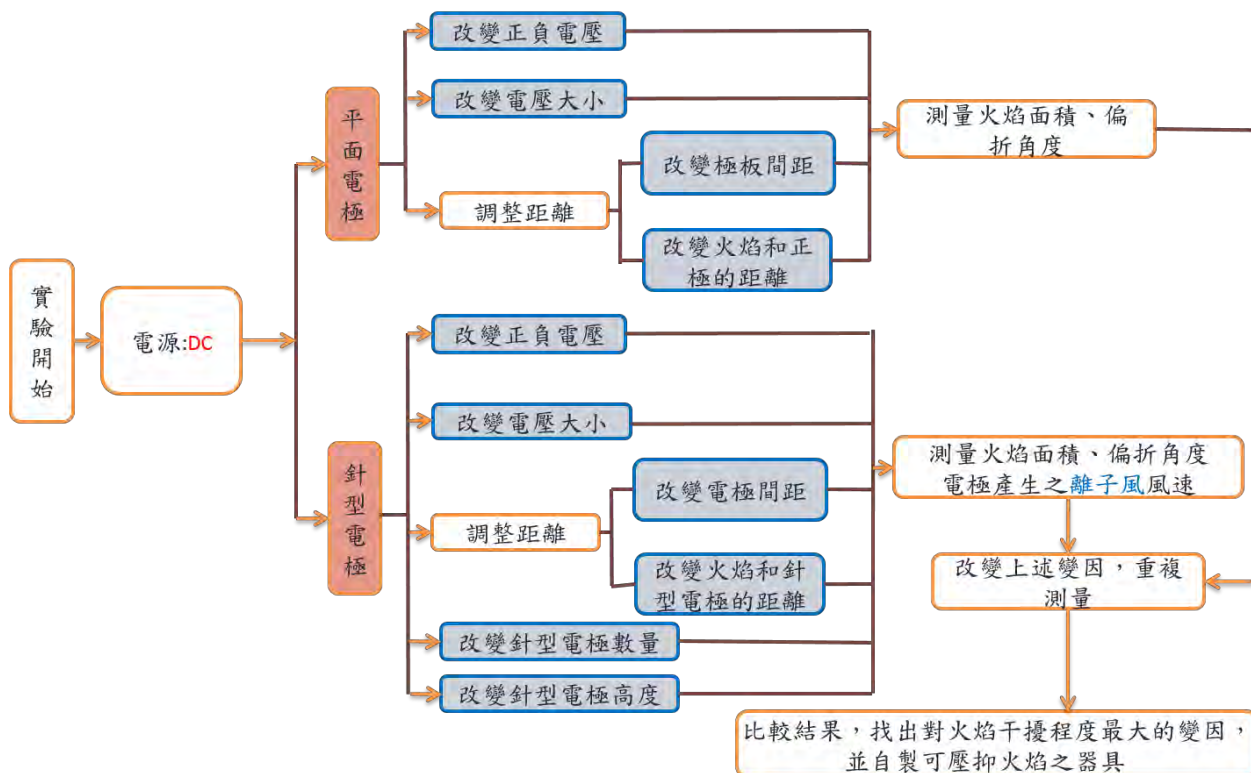


圖 4-13 實驗流程圖

(一)火焰參數：

使用受絕緣保麗龍包覆的丁烷本生燈製造擴散焰。並在每次實驗前，將未受干擾之火焰，調整至火焰高度 6 cm，面積約 6.2 cm^2 。



圖 4-14 丁烷本生燈



圖 4-15 丁烷本生燈

(二)自製之電源供應器：

以變壓範圍 0~220V 之自耦變壓器，連接輸出電壓可達 15kV、60Hz 之 Sin 波交流電的霓虹燈變壓器，再外加整流器。由於價格便宜，不像實驗室裡動則十萬元的變壓器。因此我們使用在實驗室得到的數據，利用此變壓器做出可攜帶的壓抑火焰之器具。

(三) 變因說明：

1. **正負電壓**：施加於電極上的電壓之正負之別。
2. **電壓大小**：施加於電極上的電壓量值。
3. **極板間距(電極間距)**：正負極板(電極)間的距離。
4. **火焰位置(平面電極)**：火焰和正極的距離。
5. **火焰位置(針型電極)**：火焰和針型電極的距離。
6. **針型電極數量**：使用之針型電極數量。
7. **針型電極高度**：針型電極到火焰底端的垂直高度。
8. **離子風風速**：針型電極產生之離子風風速。

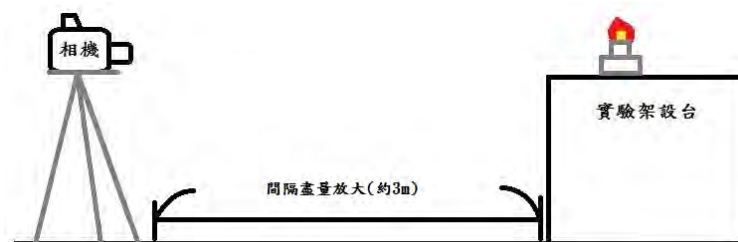


圖 4-16 實驗架設示意圖

(四)實驗一：平面電極——施加不同電壓(含正負電壓)、改變極板間距

- 1.目的：
 - (1) 試證明不管施加正電壓或負電壓，對火焰的干擾是一致的。
 - (2) 測量火焰在不同電壓大小下的偏折角度、面積。
 - (3) 測量火焰在不同極板間距下的偏折角度、面積。
- 2.(1) 操縱變因：電壓(正負、大小)、極板間距
- (2) 控制變因：火焰和正極的距離

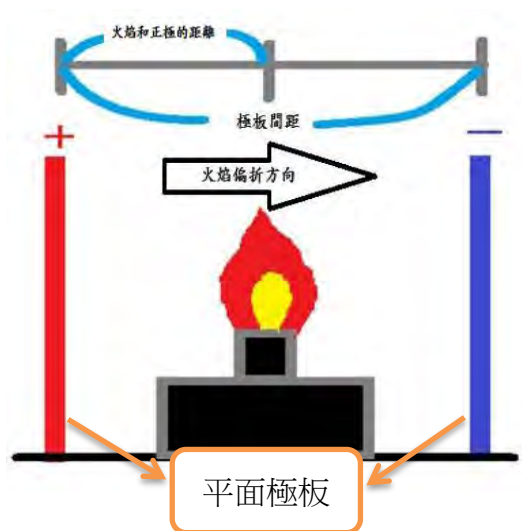


圖 4-17 平面電極實驗架設示意圖

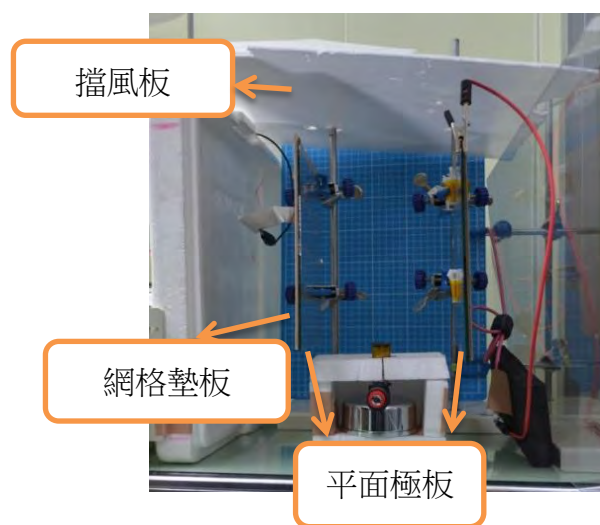


圖 4-18 平面電極實驗架設圖

3.步驟：

- (1) 架設擋風板、網格墊板，並將兩平面極板平行擺置，再放入丁烷本生燈。
- (2) 將其中一面極板接直流電源供應器，另一面接地。圖 4-17 中有正或負符號的極板，如有一方接了電源，另一方就會接地。而正電就接正符號的極板，負電就接負符號的極板。
- (3) 固定火焰和正極的距離 2cm。
- (4) 調整電壓正負 5kV~10kV(以 1kV 為單位)，以及固定極板間距 6cm。(改變正、負電壓)
- (5) 另外再調整電壓正 5kV~10kV(以 1kV 為單位)，以及極板間距

11~5cm (以 1cm 為單位)。(改變電壓大小、極板間距)

- (6) 使用單眼相機拍攝，並利用 Measure 和 Image J 測量火焰之面積和偏折角度數據。每筆數據再選取 10 個畫面取平均值。

(五)實驗二：平面電極——改變火焰位置(證明電場近似均勻)

- 1.目的：測量火焰在不同火焰位置下的偏折角度、面積，試證明兩極板間的電場近似均勻。
- 2.(1) 操縱變因：火焰和正極的距離
(2) 控制變因：電壓、極板間距
- 3.步驟：
 - (1) 固定極板間距 11cm，以及電壓正 5kV~10kV(以 1kV 為單位)。
 - (2) 調整火焰和正極的距離 2~8cm (以 2cm 為單位)。
 - (3) 使用單眼相機拍攝，並利用 Measure 和 Image J 測量火焰之面積和偏折角度數據。每筆數據為 10 個畫面所取的平均值。

(六)實驗三：針型電極——施加不同電壓以及離子風風速測量

- 1.目的：
 - (1) 測量在施加正電壓或負電壓下，對火焰干擾的差別。
 - (2) 測量火焰在不同電壓大小下的偏折角度、面積。
 - (3) 測量針型電極在改變正負電壓、不同電壓大小下，產生之離子風風速大小。

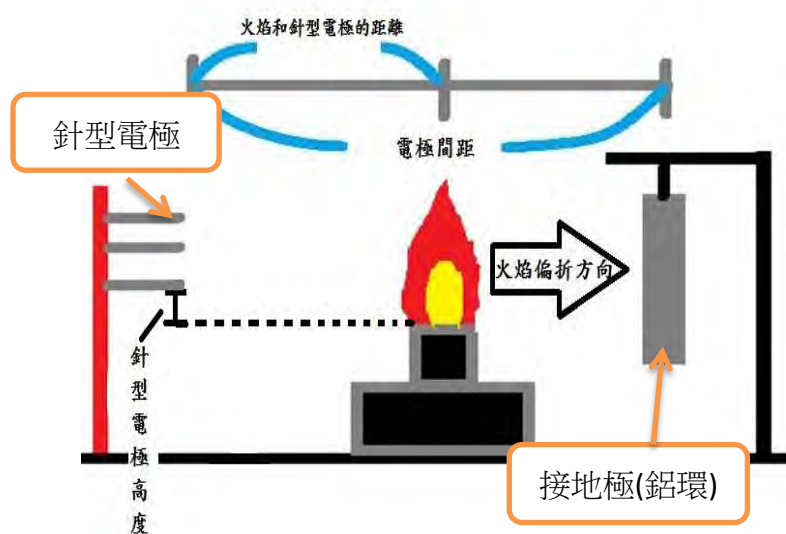


圖 4-19 針型電極實驗架設示意圖

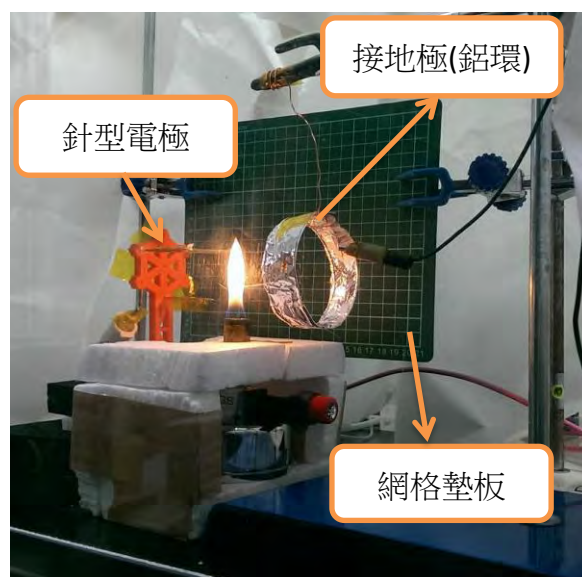


圖 4-20 針型電極實驗架設圖

2.(1) 操縱變因：電壓(正負、大小)

(2) 控制變因：火焰和針型電極的距離、電極間距、針型電極數量、針型電極高度

3.步驟：

(1) 架設擋風板、網格墊板，並將針型電極和接地的鋁環平行擺置於水平面，再於兩電極中放入丁烷本生燈。

(2) 針型電極接上直流電源供應器，鋁環則接地。

(3) 固定電極間距 8cm、針型電極數量 1 根、針型電極高度 2cm，以及火焰和針型電極的距離 2、4cm。

(4) 調整電壓正負 5kV~10kV(以 1kV 為單位)。

(5) 使用單眼相機拍攝，並利用 Measure 和 Image J 測量火焰之面積和偏折角度數據。每筆數據為 10 個畫面所取的平均值。

(6) 另外使用寶特瓶罩住的針型電極，固定電極間距 3cm、針型電極數量 1 根，並改變電壓正負 5~10kV，進行離子風風速測量。

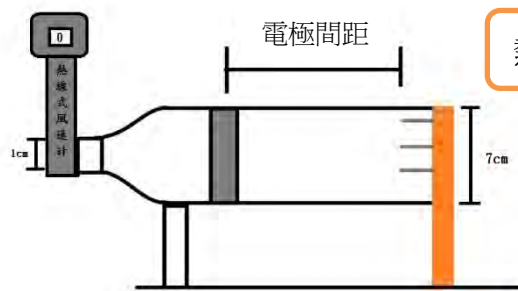


圖 4-21 離子風風速測量實驗架設示意圖

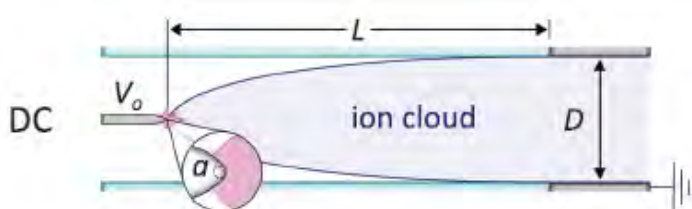


圖 4-22 離子風產生示意圖

熱線式風速計

空氣收集管(寶特瓶)

出風口

接地極(鋁環)

針型電極

圖 4-23 離子風風速測量實驗架設圖

(七)實驗四：針型電極——改變電極間距以及離子風風速測量(合併到實驗五)

- 1.目的：
 - (1) 測量火焰在不同電極間距下的偏折角度、面積。
 - (2) 測量針型電極在不同電極間距下，產生之離子風風速大小。
2.
 - (1) 操縱變因：電極間距
 - (2) 控制變因：火焰和針型電極的距離、電壓、針型電極數量、針型電極高度
- 3.步驟：
 - (1) 固定電壓正負 10kV、針型電極數量 1 根、針型電極高度 2cm，以及火焰和針型電極的距離 2、4cm。
 - (2) 調整電極距離 6~12cm (以 1cm 為單位)。
 - (3) 使用單眼相機拍攝，並利用 Measure 和 Image J 測量火焰之面積和偏折角度數據。每筆數據為 10 個畫面所取的平均值。
 - (4) 另外使用寶特瓶罩住的針型電極，固定電壓正 10kV，並改變電極間距 6cm~2cm，以及針型電極 1~3 根，進行離子風風速測量。

(八)實驗五：針型電極——改變針型電極數量以及離子風風速測量

- 1.目的：
 - (1) 測量火焰在不同針型電極數量下的偏折角度、面積。
 - (2) 測量針型電極在不同針型電極數量下，產生之離子風風速大小。
2.
 - (1) 操縱變因：針型電極數量
 - (2) 控制變因：火焰和針型電極的距離、電壓、電極間距、針型電極高度
- 3.步驟：
 - (1) 固定電壓正 10kV、電極間距 8cm、針型電極高度 2cm，以及火焰和針型電極的距離 2cm。
 - (2) 調整針型電極數量 1~3 根(以 1 根為單位)。
 - (3) 使用單眼相機拍攝，並利用 Measure 和 Image J 測量火焰之面積

和偏折角度數據。每筆數據為 10 個畫面所取的平均值。

- (4) 另外使用寶特瓶罩住的針型電極，固定電壓正 10kV，並改變電極間距 6cm~2cm，以及針型電極 1~3 根，進行離子風風速測量。

(九)實驗六：針型電極——改變火焰位置

- 1.目的：測量火焰在不同火焰位置下的偏折角度、面積。
- 2.(1) 操縱變因：火焰和針型電極的距離
- (2) 控制變因：針型電極數量、電壓、電極間距、針型電極高度
- 3.步驟：
 - (1) 固定電壓正 10kV、電極間距 8~10cm(以 1cm 為單位)、針型電極高度 2cm，以及針型電極數量 1 根。
 - (2) 調整火焰和針型電極的距離 1~5cm (0.5cm 為單位)。
 - (3) 使用單眼相機拍攝，並利用 Measure 和 Image J 測量火焰之面積和偏折角度數據。每筆數據為 10 個畫面所取的平均值。

(十)實驗七：針型電極——改變針型電極高度

- 1.目的：測量火焰在不同針型電極高度下的偏折角度、面積。
- 2.(1) 操縱變因：針型電極高度
- (2) 控制變因：針型電極數量、電壓、電極間距、火焰和針型電極的距離
- 3.步驟：
 - (1) 固定電壓正 10kV、電極間距 6cm、火焰和針型電極的距離 1cm，以及針型電極數量 1 根。
 - (2) 調整針型電極高度 0.5~2.5cm (0.5cm 為單位)。
 - (3) 使用單眼相機拍攝，並利用 Measure 和 Image J 測量火焰之面積和偏折角度數據。每筆數據為 10 個畫面所取的平均值。

伍、研究結果

一、實驗一：平面電極—施加不同電壓(正負電壓、大小)、改變極板間距

(一) 目的：試證明不管施加正電壓或負電壓，對火焰的干擾是一致的。

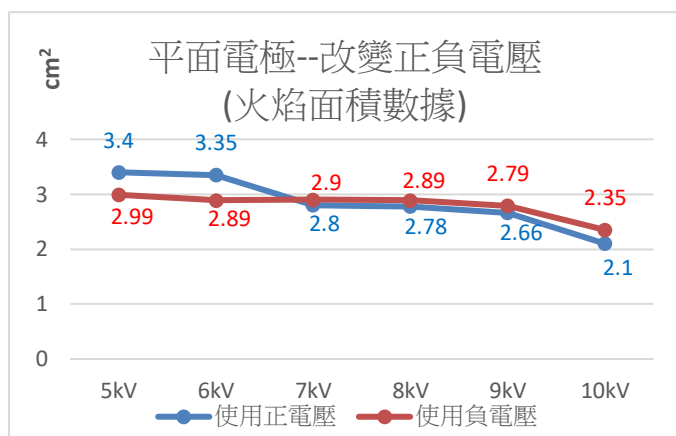


圖 5-1 平面電極—改變正負電壓(火焰面積數據)

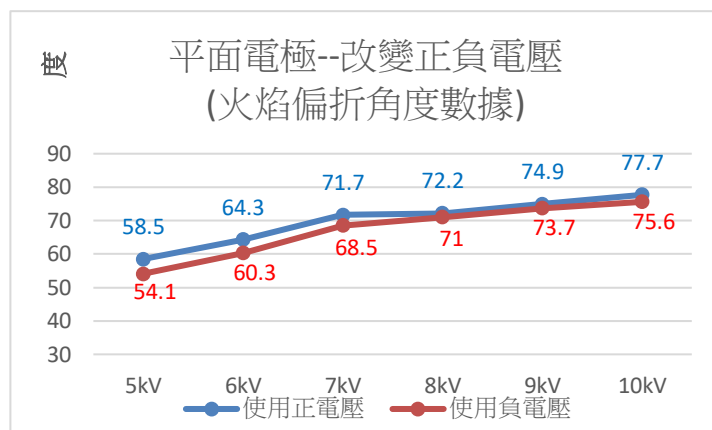


圖 5-2 平面電極—改變正負電壓(火焰偏折角度數據)

從圖 5-1、圖 5-2 可以看出，不管使用正電壓或是負電壓，在同電壓量值、極板間距、火焰和正極的距離的情況下，火焰面積和偏折角度隨電壓大小增加的變化都是一致的。也就是改變正負電壓，對火焰產生的干擾大小不會有影響。

(二)目的：測量火焰在不同電壓大小下的偏折角度、面積。

表 5-1 平面電極—改變電壓大小、極板間距(火焰面積數據，單位：cm²)

火焰面積數據								
電壓	極板間距	11cm	10cm	9cm	8cm	7cm	6cm(產生電弧)	5cm(產生電弧)
+5kv		4.68	4.42	4.06	4.23	4.33	4.31	2.65
+6kv		4.25	4.36	3.78	4.21	3.86	3.65	2.32
+7kv		4.19	4.05	3.72	3.62	3.38	2.8	2.25
+8kv		4.16	3.91	3.63	3.5	3.4	2.78	1.82
+9kv		3.72	3.5	3.14	3.15	2.88	2.66	1.86
+10kv		3.7	3.54	3.15	2.65	2.8	2.1	1.71

表 5-2 平面電極—改變電壓大小、極板間距(火焰偏折角度數據，單位：度)

火焰偏折角度數據								
電壓	極板間距	11cm	10cm	9cm	8cm	7cm	6cm(產生電弧)	5cm(產生電弧)
+5kv		0	0	0	11	26.8	58.5	69.5
+6kv		0	0	23.5	14.8	34.3	64.3	73.3
+7kv		13.8	21.4	33.2	20.9	52	71.7	75.6
+8kv		15.9	24.7	37.6	42.4	56.2	72.2	78
+9kv		19.9	30	39.9	55.8	60.6	74.9	79.6
+10kv		20.3	42.6	49.7	67.2	68.5	77.7	83.2

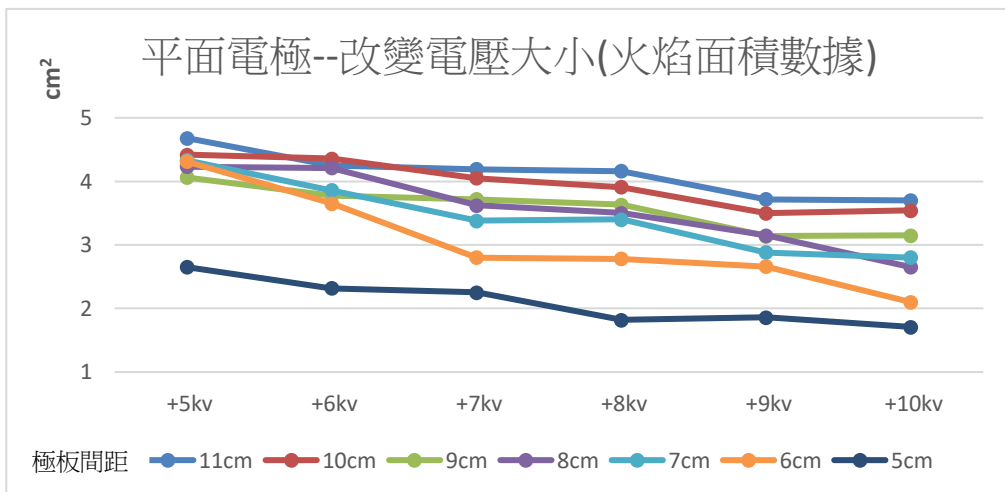


圖 5-3 平面電極—改變電壓大小(火焰面積數據)

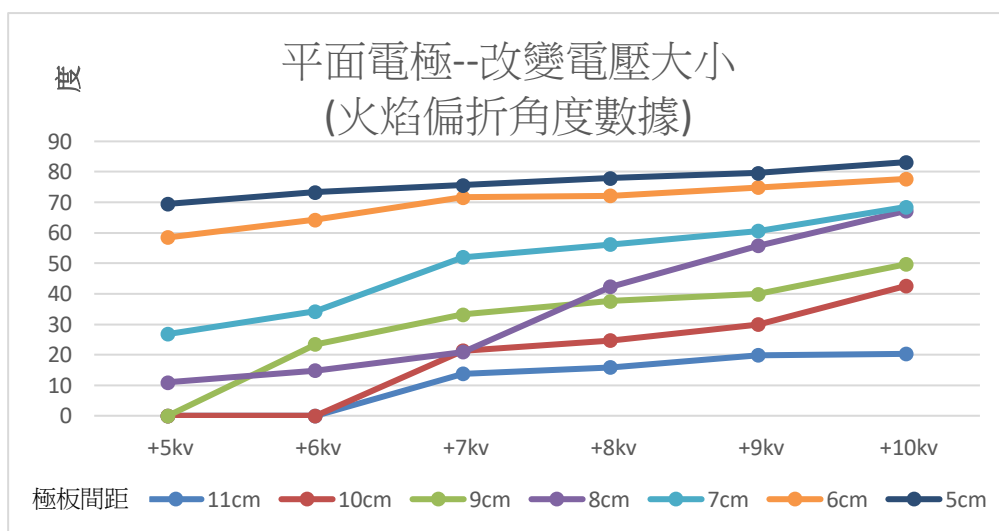


圖 5-4 平面電極—改變電壓大小(火焰偏折角度數據)

電壓大小愈大電場愈強，火焰受到的干擾就愈強烈。從電場對火焰的影響來看，隨著電壓大小的增加，電場會愈強，火焰裡的離子沿電力線方向的運動也越快，導致火焰整體偏離的更多。

(三)目的：測量火焰在不同極板間距下的角度、面積。

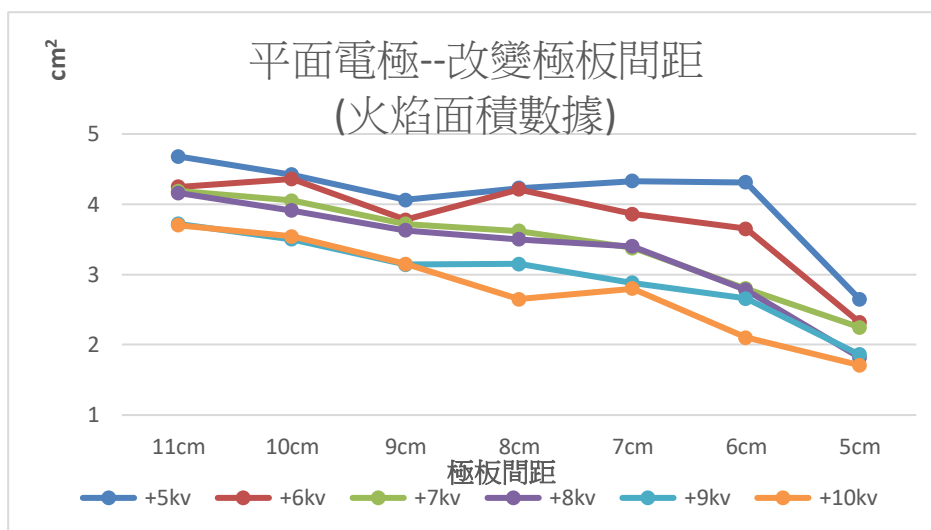


圖 5-5 平面電極—改變極板間距(火焰面積數據)

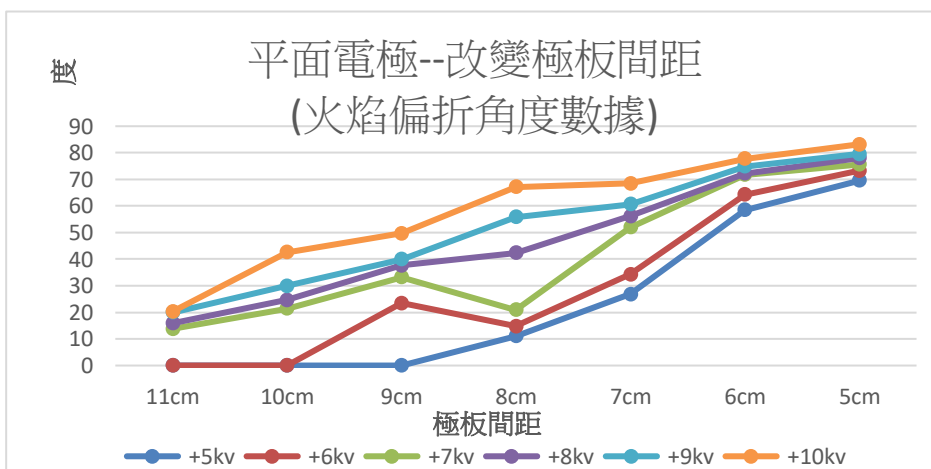


圖 5-6 平面電極—改變極板間距(火焰偏折角度數據)

從圖 5-5、圖 5-6 可以看出，隨極板間距減小，火焰干擾程度隨之增加。在使用平面極板，且火焰只受到電場干擾，無離子風干擾的情況下，隨極板間距接近，電場大小增加的情形，就一如隨電壓增大電場大小增加的情況一樣。所以干擾程度增加的原因應該跟前述實驗結果所述一致。

而在此實驗中，極板間距 6cm 時，電壓使用+9kV 和+10kV 會產生電弧；但極板間距 5cm 時，不管施加電壓大小(+5kV~10kV)，都有電弧產生。

二、實驗二：平面電極—改變火焰位置(證明電場近似均勻)

表 5-3 平面電極—改變火焰位置 (單位：cm²)

電壓	距離	2cm	4cm	6cm	8cm
+5kv		4.68	4.78	4.67	4.77
+6kv		4.25	4.27	4.26	4.28
+7kv		4.19	4.16	4.29	4.2
+8kv		4.16	4.23	4.24	4.19
+9kv		3.72	3.96	3.76	3.86
+10kv		3.7	3.75	3.72	3.76

表 5-4 平面電極—改變火焰位置 (單位：度)

電壓	距離	2cm	4cm	6cm	8cm
+5kv		0	0	0	0
+6kv		0	0	0	0
+7kv		13.8	13.3	13.1	13.9
+8kv		15.9	16	16.2	15.8
+9kv		19.9	20.9	20.7	20.6
+10kv		20.3	21.1	21.3	21.8

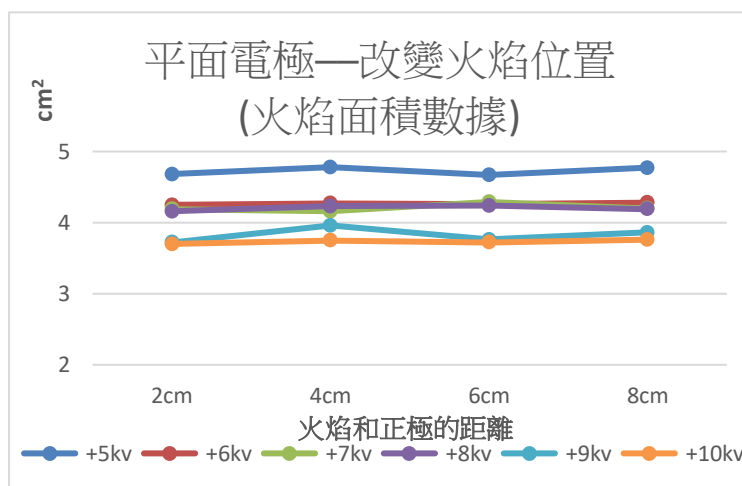


圖 5-7 平面電極—改變火焰位置(火焰面積數據)

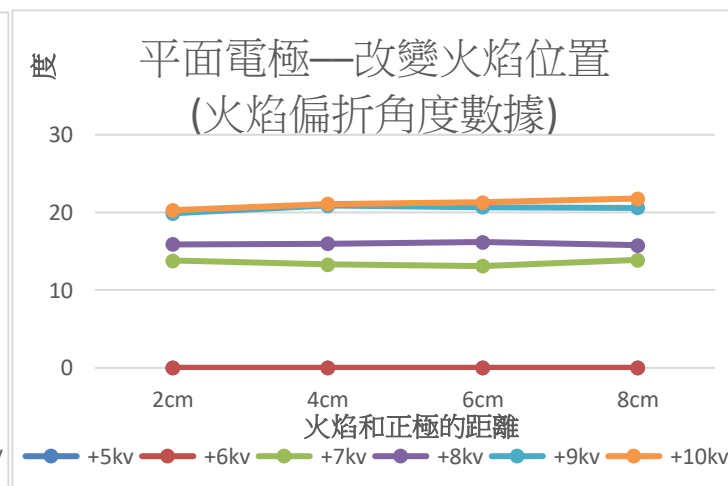


圖 5-8 平面電極—改變火焰位置(火焰偏折角度數據)

從圖 5-7 和圖 5-8 可以看出，不管在火焰面積還是火焰偏折角度的數據上，改變火焰位置(火焰和正極的距離)都不會影響到火焰受干擾的程度。由此可證明前述實驗原理說明的，平面極板平行擺置產生的電場近似均勻。【2】

三、實驗三：針型電極—施加不同電壓(正負電壓、大小)以及離子風風速測量

(一)目的：測量在施加正電壓或負電壓下，對火焰干擾的差別。

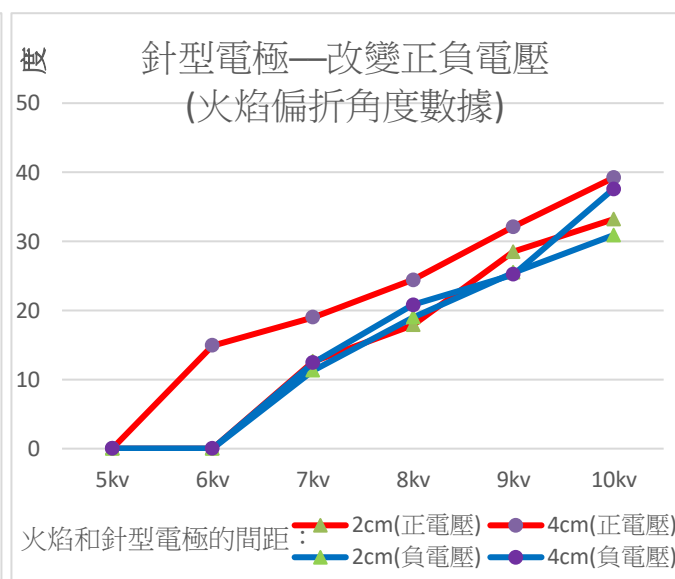
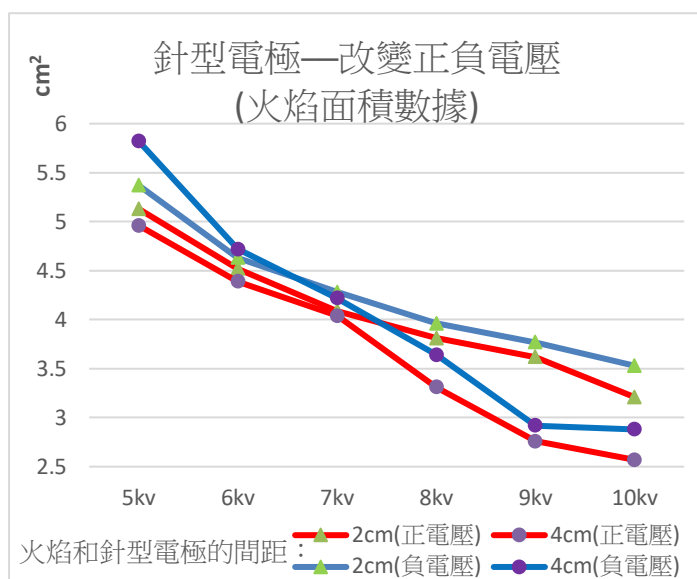


圖 5-13 針型電極—改變正負電壓(火焰面積數據) 圖 5-14 針型電極—改變正負電壓(火焰偏折角度數據)

由圖 5-9 和圖 5-10 可以看出，針型電極在使用正電壓的情況下，火焰面積較小，偏折角度較大，也就是對火焰的干擾比負電壓來的大。這是因為使用負電壓的針型電極會吸引火焰，與離子風擾動火焰的方向相反(如圖 5-11)，導致火焰部分受吸引(電場的力量)，但部分又被吹離(離子風的力量)，反而促進火焰的燃燒且增加面積。



圖 5-11 火焰變形

(二) 目的：測量火焰在不同電壓大小下的偏折角度、面積

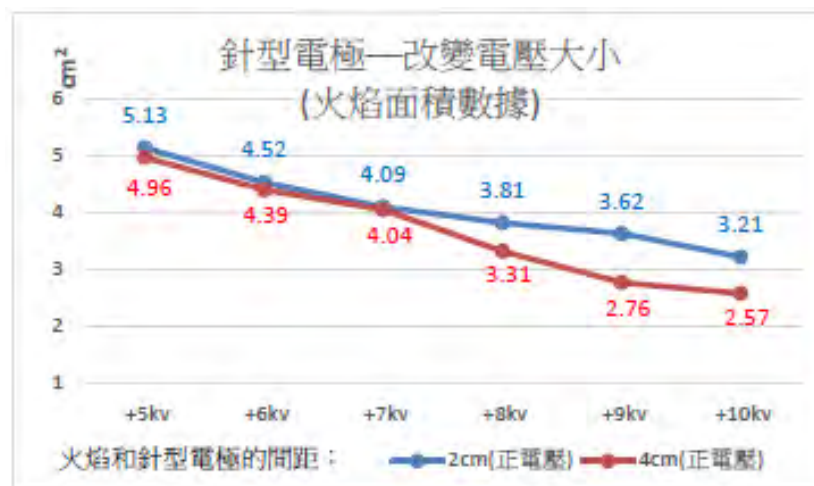


圖 5-12 針型電極—改變電壓大小(火焰面積數據，正電壓)

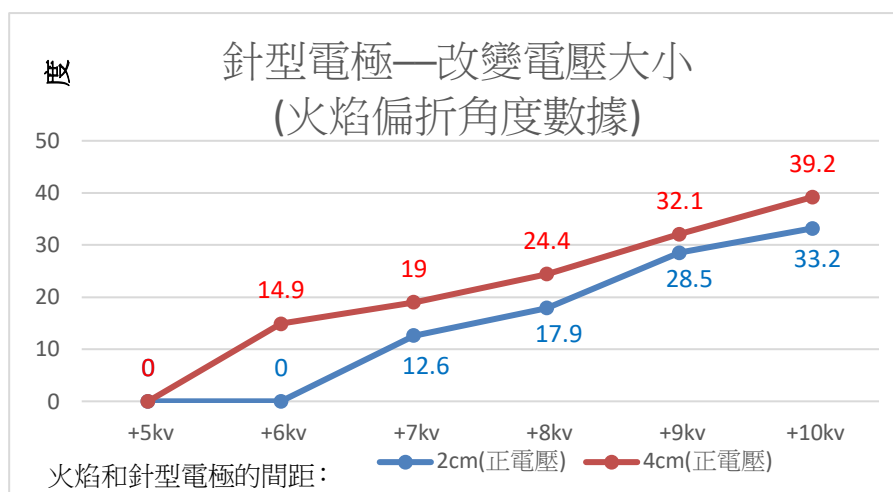


圖 5-13 針型電極—改變電壓大小(火焰偏折角度數據，正電壓)

從圖 5-12、圖 5-13 中可以看到，電壓大小越大，干擾程度越大。而在使用針型電極的情況下，多了離子風的力量來擾動火焰，也就是火焰會受到更多干擾。

我們推測火焰隨電壓大小增加，受干擾程度也隨之增強的原因，除了因為隨電壓大小增加，電場會有所增強外，離子風應該也會隨電壓的增加，而有所增強，導致火焰受到更多干擾。而我們將在隨後的研究結果說明，離子風風速和電壓大小的關係（研究結果三(三)）。

(三)目的：測量針型電極在改變正負電壓、不同電壓大小下，產生之離子風風速大小。

為了討論干擾火焰的離子風風速，它的強度和電壓的關係，我們測量了隨電壓變化的離子風風速。

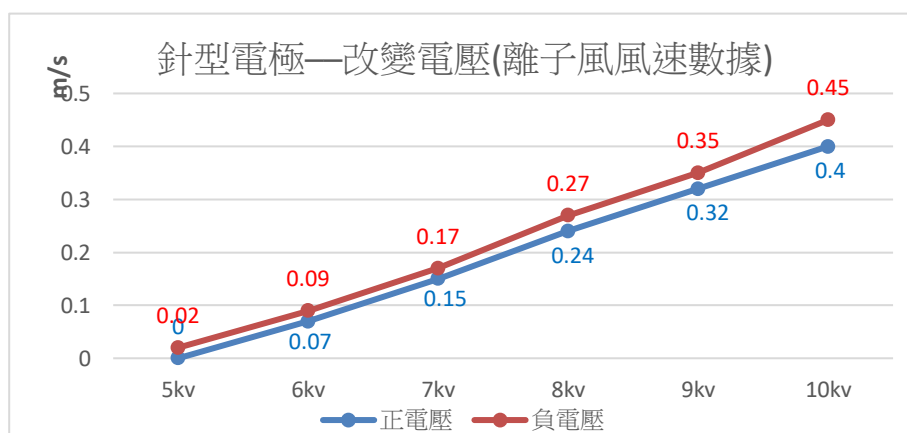


圖 5-14 針型電極—改變電壓(離子風風速數據)

由圖 5-14 可看出，電壓大小越高風速越大，也就是離子風強度越強。這代表電壓大小越高，火焰受到離子風干擾的程度越劇烈，吻合前述改變電壓大小對火焰影響之結果。

四、實驗四：針型電極——改變電極間距以及離子風風速測量(合併到實驗五)

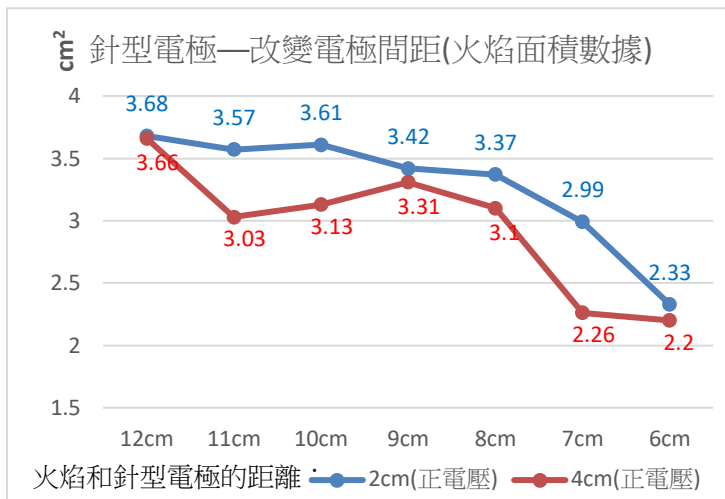


圖 5-15 針型電極—改變電極間距(火焰面積數據)

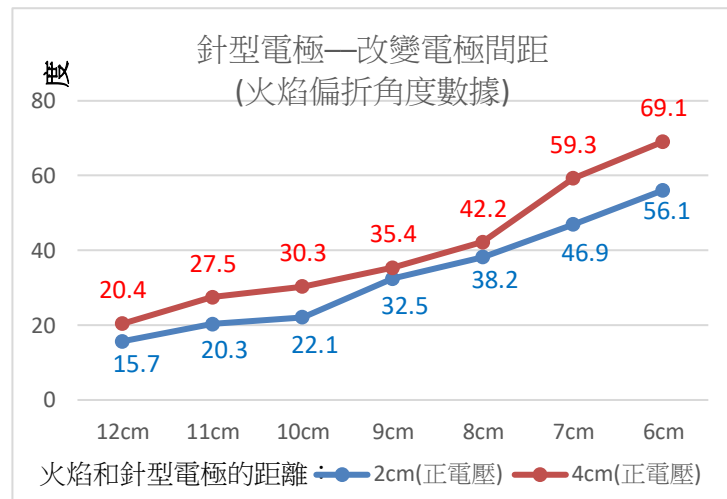


圖 5-16 針型電極—改變電極間距(火焰偏折角度數據)

實驗之所以沒有測量電極間距小於 6cm 以下的數據，是因為在電極間距 5cm 時，不管電壓是正是負，電壓大小 5kV~10kV 時電極間都會產生電弧，有安全之疑慮。

從圖 5-15、圖 5-16 來看，電極間距愈小，火焰面積越小、偏折角度越大，也就是干擾程度越大。這是因為隨電極間距縮短，電場強度增加，以及隨後將探討的離子風風速增加（研究結果五(二)），導致火焰受到更大的干擾。

五、實驗五：針型電極——改變針型電極數量以及離子風風速測量

(一) 目的：測量火焰在不同針型電極數量下的偏折角度、面積。

表 5-5 針型電極—改變針型電極數量(火焰面積數據，單位：cm²)

火焰面積數據							
電極數量	電壓	+5kv	+6kv	+7kv	+8kv	+9kv	+10kv
1 根針型電極		5.13	5.02	4.29	4.11	3.92	3.87
2 根針型電極		5.65	5.43	4.29	4.31	3.85	3.18
3 根針型電極		5.64	4.97	4.32	4.33	4.05	3.88

表 5-6 針型電極—改變針型電極數量(火焰偏折角度數據，單位：度)

火焰偏折角度數據							
電極數量	電壓	+5kv	+6kv	+7kv	+8kv	+9kv	+10kv
1 根針型電極		0	0	12.6	17.9	28.5	33.2
2 根針型電極		0	0	13.3	16.9	22.2	25.7
3 根針型電極		0	0	11.2	16.1	20.9	23.3

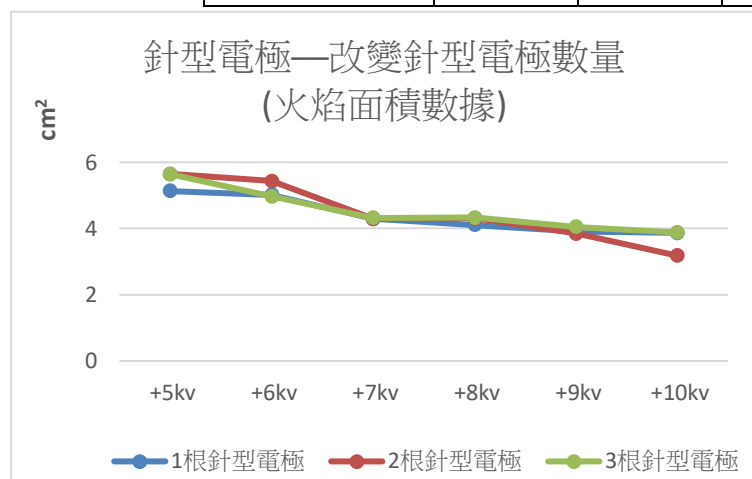


圖 5-17 針型電極—改變針型電極數量(面積數據)

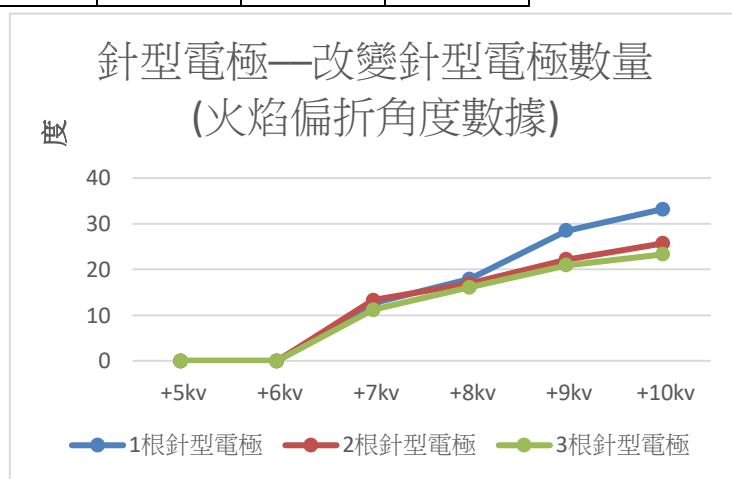


圖 5-18 針型電極—改變針型電極數量(偏折角度數據)

從圖 5-17、圖 5-18 來看，針型電極數量不管幾根，數據隨電壓變化的趨勢都很接近。由此可以看出火焰干擾程度應是與針型電極數量無關。

(二) 目的：測量針型電極在不同電極間距、針型電極數量下，產生之離子風風速大小。

為了討論干擾火焰的離子風風速，它的強度和電極間距、針型電極數量的關係，我們測量了離子風風速來做比對。

表 5-7 針型電極—改變電極間距、針型電極數量 (單位：m/s)

離子風風速數據						
電極數量	電極間距	6cm	5cm	4cm	3cm	2cm
1 根針型電極		0.29	0.35	0.4	0.41	0.44
2 根針型電極		0.25	0.33	0.37	0.45	0.5
3 根針型電極		0.25	0.27	0.35	0.4	0.52

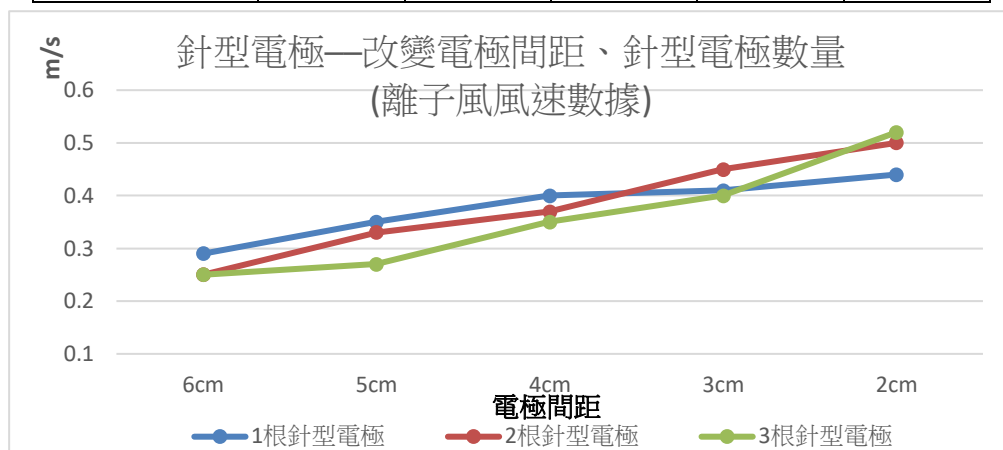


圖 5-19 針型電極—改變電極間距、針型電極數量(離子風風速數據)

- 1.由圖 5-19 可以看到，不管針型電極數量多寡，在相同電極間距和電壓下，它們的風速幾乎是一致的。因此改變針型電極數量的多寡，對火焰產生的干擾，就離子風風速上來看應是相近的。
- 2.由圖 5-19 可以看到，不管針型電極數量如何，風速都有隨著電極間距減少而增加的傾向。也就是隨著電極間距縮短，離子風對火焰產生的干擾越大。推測這是因為極板間距減少，電場增大，極化了更多的空氣，產生了更多的離子。(對應回實驗四的研究結果)

六、實驗六：針型電極——改變火焰位置

表 5-8 針型電極——改變火焰位置(單位：cm²)

火焰面積數據										
電極 間距	火焰 位置	1cm	1.5cm	2cm	2.5cm	3cm	3.5cm	4cm	4.5cm	5cm
8cm		30	32.9	33.9	35.4	38.5	37.2	41.6	42.5	46.3
9cm		20.9	26.3	25.9	27.1	28.5	28	29.8	31.6	32.1
10cm		13.3	18.7	18.2	18.1	22.8	24.5	25.4	26	26.8

表 5-9 針型電極——改變火焰位置(單位：度)

火焰偏折角度數據										
電極 間距	火焰 位置	1cm	1.5cm	2cm	2.5cm	3cm	3.5cm	4cm	4.5cm	5cm
8cm		6.59	6.07	5.82	4.96	4.68	4.55	4.43	4.2	3.58
9cm		6.75	6.23	6.03	5.41	5.41	4.87	4.68	4.42	3.87
10cm		6.82	6.54	6.08	5.86	5.62	5.4	4.98	4.64	4.35

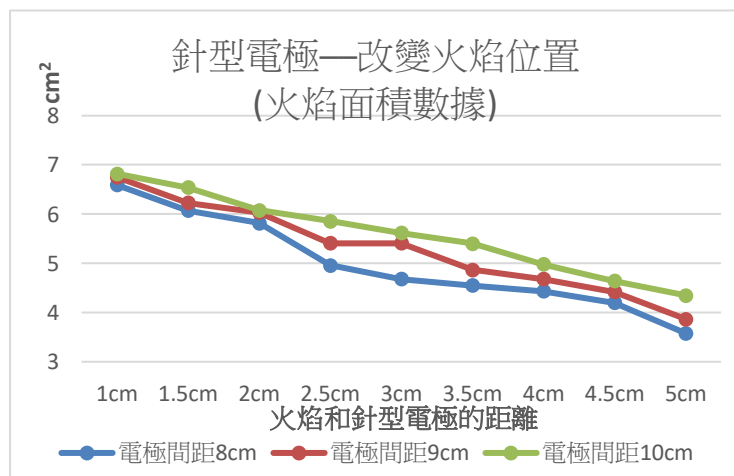


圖 5-20 針型電極——改變火焰位置(火焰面積數據)

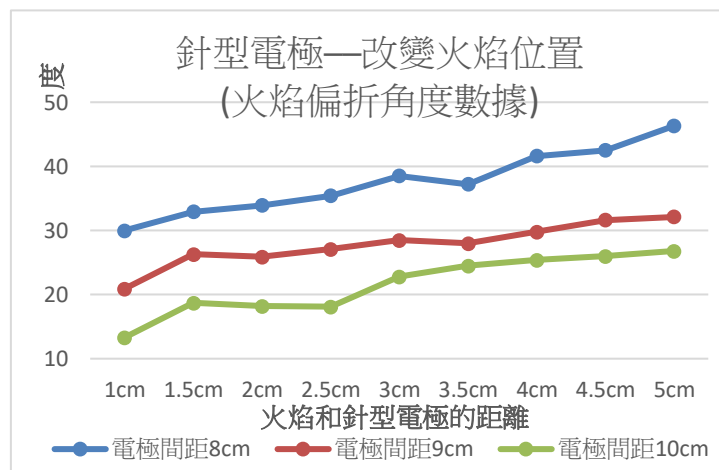


圖 5-21 針型電極——改變火焰位置(火焰偏折角度數據)

從圖 5-20 和圖 5-21 可以看出，使用正電壓作為電源，且不管電極間距為 8~10cm 時，隨著火焰和針型電極的距離增加，火焰受干擾程度都隨之增加。

七、實驗七：針型電極——改變針型電極高度

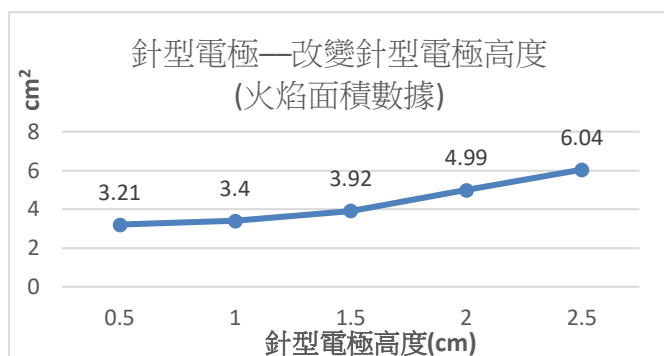


圖 5-22 針型電極—改變針型電極高度(面積)

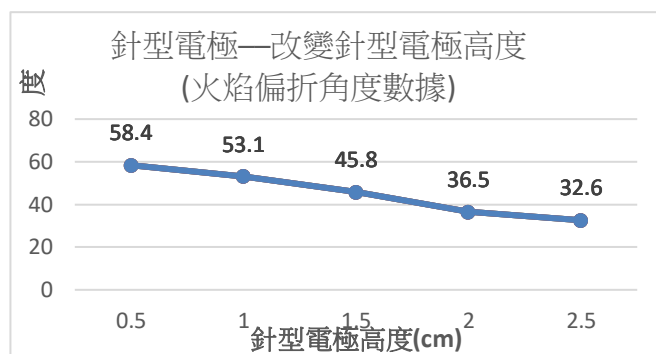


圖 5-23 針型電極—改變針型電極高度(偏折角度)

從圖 5-22、圖 5-23 可以看出，隨針型電極高度的升高，也就是離火焰底端越遠，火焰的干擾程度隨之降低。這是因為擴散焰的燃料來自火焰下方，但不含氧化劑，所以在它還沒與空氣擴散接觸、獲得氧化劑前，就把它擾亂開來讓它無法反應，會對火焰產生較大的干擾。

陸、討論

- 一、根據研究結果一，在使用平面電極的情況下，不管電源供應正電或負電，對於火焰的干擾程度相差無幾。這是因為電壓是相對的，當一端電位高另一端就顯得低，一端低另外一端就顯得高，所以處於其中的火焰位在的等位面是一致的。
- 二、根據研究結果一，在使用平面電極的情況下，火焰隨極板間距的減短，受干擾程度增加。但到極板間距 5cm 及以下時，不管電壓大小為 5kV~10kV 都會產生微弱到劇烈程度不等之電弧，十分危險；而極板間距 6cm 時也有相同狀況，但僅限於 9、10kV 會產生電弧。因此在數據的比對，以及考量避免產生電弧的安全性下，極板間距 6cm、電壓 8kV 是較好的選擇。

而從表 5-10 (利用均勻電場公式計算出來)可以看出，在極板間距 5cm 且電壓 5kV 時電場大小只有 100kV/m，低於許多極板間距較遠，但電壓較大時的電場值。而這些電場較大的狀況卻沒產生電弧，我們認為這是因為在電場大小未達介電崩潰(electrical breakdown)約 3000kV/m 時【10】，我們觀

察到的電弧乃是火焰裡的正負離子促成的，所以增大極板間距會讓火焰裡的離子分佈區域減少，變得較難產生電弧。導致即使在同電場大小下，極板間距越小越容易產生電弧。

表 6-1 極板間距、電壓對應之電場大小(單位：kV/m)

極板間距、電壓對應之電場大小(單位：kV/m)								
電壓	極板間距	11cm	10cm	9cm	8cm	7cm	6cm	5cm
	+5kV	45.45	50	55.56	62.5	71.43	83.33	100
	+6kV	54.55	60	66.67	75	85.71	100	120
	+7kV	63.64	70	77.78	87.5	100	116.67	140
	+8kV	72.73	80	88.89	100	114.29	133.33	160
	+9kV	81.82	90	100	112.5	128.57	150	180
	+10kV	90.91	100	111.11	125	142.86	166.67	200

三、根據研究結果四，在使用針型電極的情況下，火焰隨電極間距縮減，受干擾程度增加。但正電壓壓抑火焰之效果較好，所以不討論負電壓。而在施加正電壓的前提下，電極間距僅 5cm 時，易產生電弧。因此在電極間距 6cm 時，施以 10kV 應既可免產生電弧，又能獲得最佳火焰壓抑效果。

四、霓虹燈變壓器產生之電流為頻率 60Hz 之交流電，雖然利用自行製作之橋式全波整流器轉為正高壓電，但波形依然非直線狀。所以在使用這台變壓器進行火焰干擾時，會有些微誤差。

柒、結論

一、在平面極板的實驗結果中得證明，不管使用的是正電壓或負電壓，如果電壓量值大小相等，正負電壓對火焰的干擾效果是一致的。

二、在平面極板的實驗結果中可以得知，火焰和正極的距離(兩電極板間)跟火焰會受到的干擾程度無關。也就是此兩極板中的電場近似均勻，而火焰可以擺在兩極板中的任意位置。

三、在平面電極的實驗結果中，得出在使用平面電極的情況下，極板間距 6cm、

直流電壓正或負 8kV 時，能獲得避免產生電弧的最佳火焰壓抑效果。

四、在**針型電極**的實驗結果中，可以得知極板間距 6cm、火焰和針型電極的距離盡量拉大(在兩電極間)、針型電極高度盡量縮小(在火焰底部之上)，且直流電壓正 10kV 時，會有能避免產生電弧之最佳火焰抑制效果。

五、在**針型電極**的實驗結果中，可以得知改變針型電極數量，跟火焰受干擾的程度大小無關聯。

六、最後利用這些參數，使用自耦變壓器連接霓虹燈變壓器，再外接整流器，產生正高壓電並調整至所需電壓數。施加在平面極板或針型電極上。並在壓抑火焰時，遵守各自能獲得最佳火焰壓抑效果之參數。

捌、未來展望

一、本研究自製之變壓器，使用霓虹燈變壓器，外接上自耦變壓器調控。成本低廉，易於普及化。未來可望做為另類滅火方案。

二、未來如應用在火場，為避免高壓電的危險，可再外接限流器，設定上限電流值。可以避免電弧的產生，以及生物或人類觸電致死的可能。

玖、參考資料及其他

【1】Drews, A. M., & Cademartiri, L., & Whitesides, G. M., & Bishop, K. J. M. (2013).

Electric winds driven by time oscillating corona discharges. *Appl. Phys.*, 114, 143302. (pp. 1~2).

【2】王尊信，洪連輝 (2009 年 08 月 31 日)・「平行金屬板 (Parallel Plate)」的

迴響・科學 Online・取自

<https://goo.gl/D4ooyO>

【3】電場強度公式 (2013 年 8 月 26 日)・台灣 Word・取自

<https://goo.gl/b0vjCW>

【4】Ion wind (2016)・Wikipedia・取自

<https://goo.gl/m3EvIi>

- 【5】朱致宜 (2011 年 01 月 07 日)・離子風散熱器力推「無扇製風」・CTimes・
取自
<https://goo.gl/0kd85s>
- 【6】電漿 (2017)・*維基百科自由的百科全書*・取自
<https://goo.gl/qb8tEM>
- 【7】Saito, M., & Arai, T., & Arai, M. (1999). Control of soot emitted from acetylene diffusion flames by applying an electric field. *Combustion and Flame*, 119, (pp. 357~358, 363~364).
- 【8】Anbarafshana, R., & Azizinaghshb, H., & Naminc, R. M. (2011). Flames in horizontal electric field, deviation and oscillation. *International Young Physicists' Tournament*.
- 【9】林大惠 (2002 年 07 月)・燃燒火焰知多少・*科學發展*，355，5-11・取自
<https://goo.gl/ONqquU>
- 【10】氣體介質擊穿 (2013 年 9 月 18 日)・*台灣 Wiki*・取自
<https://is.gd/IEkGw4>
- 【11】Drews, A. M., Cademartiri, L., & Chemama M. L., & Brenner M. P., & Whitesides, G. M., & Bishop, K. J. M. (2012). AC electric fields drive steady flows in flames. *Phys. Rev., E* 86, 036314.
- 【12】鄭振東 (1995)・*電磁學入門*・台北市：建宏出版社。
- 【13】Hayt, William H (2006)・*工程電磁學*・台北市：麥格羅希爾出版社。
- 【14】陳正昇 (2014)・*高三選修物理(上)第六章靜電學*・康熙文化。

【評語】 051803

本作品探討如何利用電場抑制火焰，研究設計中的實驗流程敘述清楚，實驗的設計及自製的實驗設備，值得嘉許，建議可再就關於製作壓抑火焰之器具的想法作較深入的規畫與設計，探討其可行性。

作品海報

摘要

本研究利用火焰中電漿的特性，施以直流電場干擾，並在使用平面電極與針型電極的狀況下，改變電壓、距離、火焰位置等變因，分析火焰受到干擾後的偏折角度、面積，以及將火焰數據和針型電極產生的離子風做比較，尋找火焰受干擾強度和針型電極的離子風風速的關係。期望找出壓抑火焰的最佳方法。

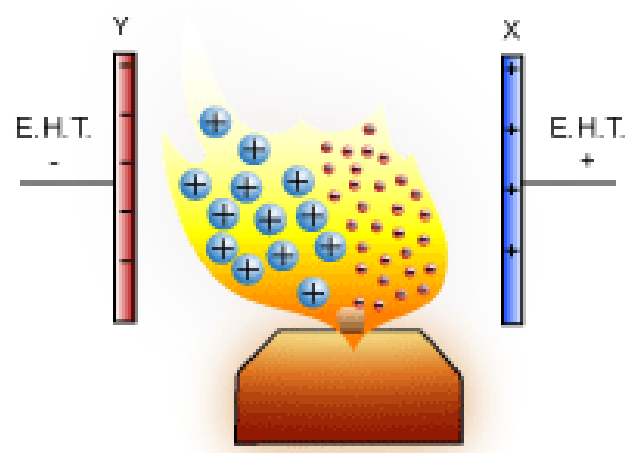
壹、研究動機

火災向來是人們的噩夢，當大火在住宅、工廠任意肆虐時，人們失去了財產、家人、甚至是自己的性命。傳統的滅火方法有諸多缺點和限制，例如常使用的「水」或是滅火效果極佳的「海龍滅火器」，在某些情況下反而容易弄巧成拙，造成反效果，更甚對環境造成負面的影響。我們查閱許多文獻資料後，發現火焰容易與電場耦合作用，產生強烈干擾，甚至有熄滅的可能。如果能以強電場控制火焰，能避免直接接觸，也不易留下有毒化學物質等後遺症。因此我們由此出發，開始了電場與火焰的相關研究與探討。

貳、研究目的

一、平面電極(均勻電場)

- (一)試證明不管施加「正電壓或負電壓」，對火焰的干擾是一致的。
- (二)測量火焰在不同「電壓大小」下的偏折角度、面積。
- (三)測量火焰在不同「極板間距」下的偏折角度、面積。
- (四)測量火焰在不同「火焰位置」下的偏折角度、面積，試證明兩極板間的電場近似均勻。



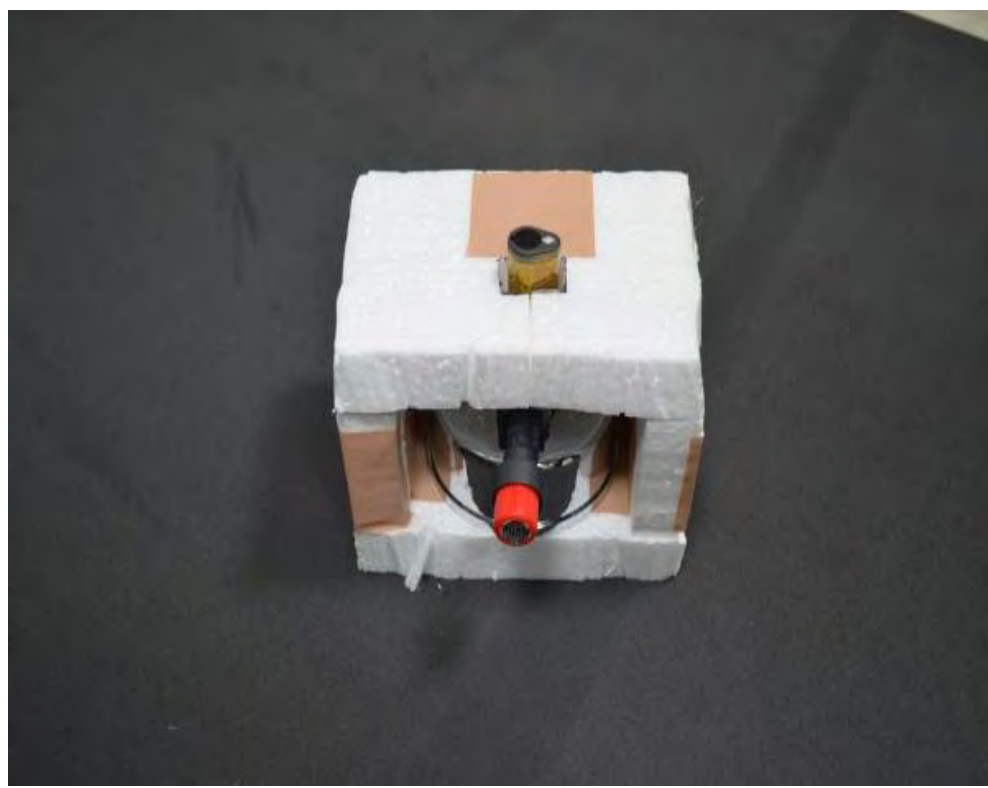
火焰偏折示意圖

二、針型電極(非均勻電場、產生離子風)

- (一)測量在施加「正電壓或負電壓」下，對火焰干擾的差別。
- (二)測量火焰在不同「電壓大小」下的偏折角度、面積。
- (三)測量火焰在不同「電極間距」下的偏折角度、面積。
- (四)測量火焰在不同「針型電極數量」下的偏折角度、面積。
- (五)測量火焰在不同「火焰位置」下的偏折角度、面積。
- (六)測量火焰在不同「針型電極高度」下的偏折角度、面積。
- (七)測量改變上述部分變因後的離子風風速(針型電極產生)，找出風速強度和上述部分變因的關係。

三、找出火焰抑制效果最佳的架設方式，製作能壓抑火焰之器具。

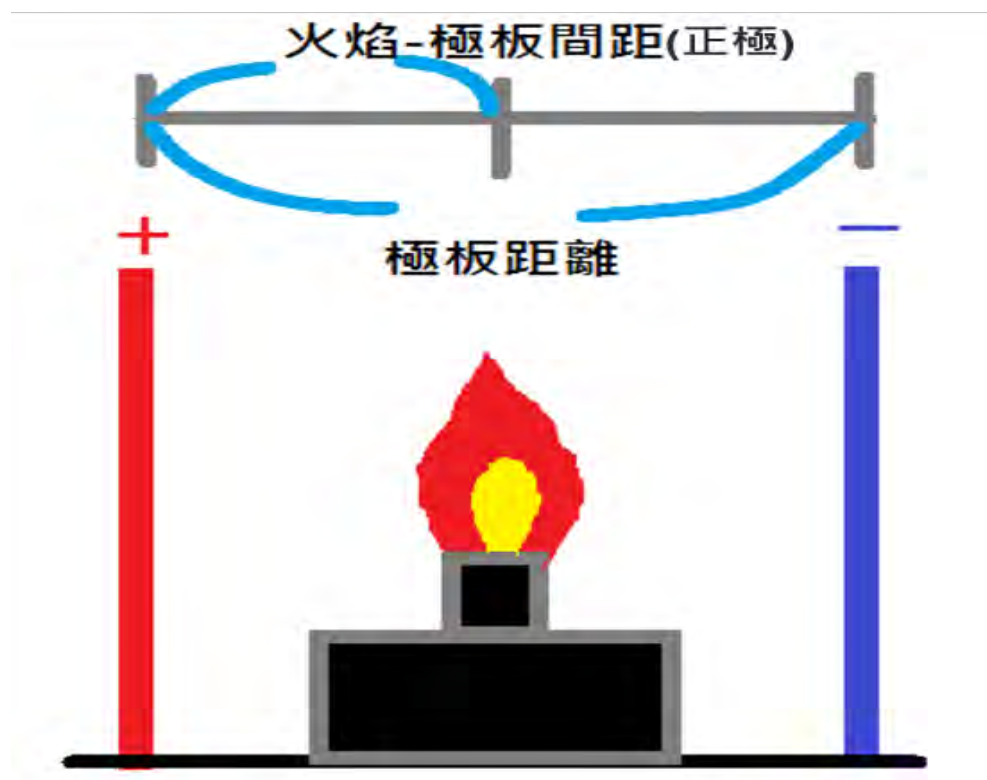
參、研究設備及器材



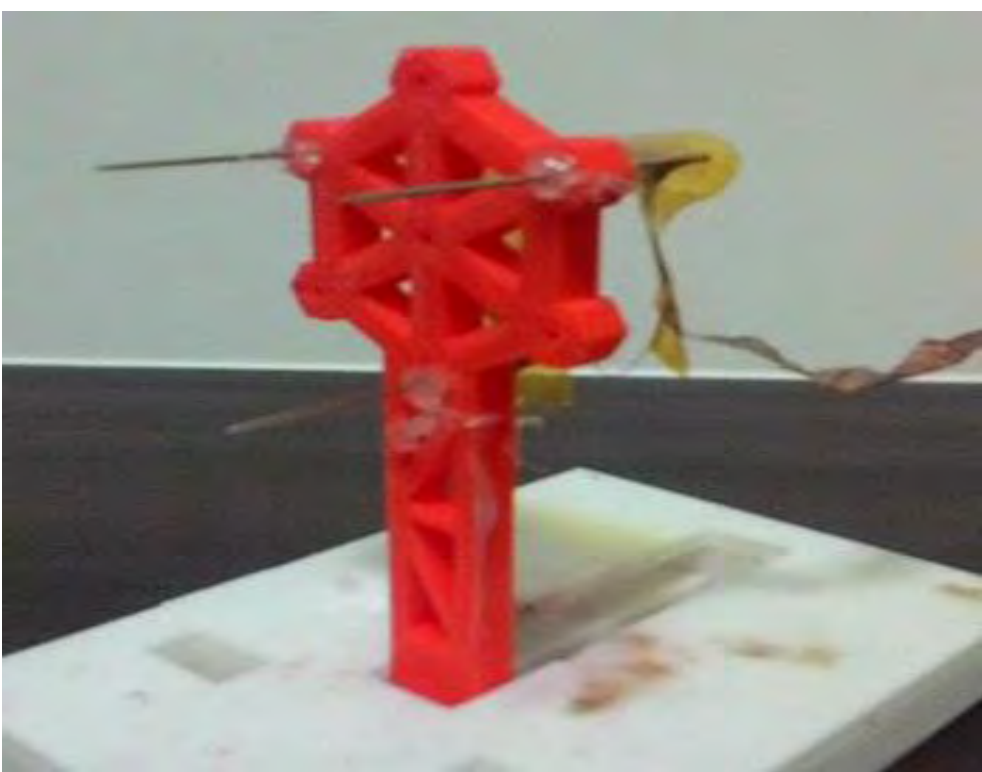
丁烷本生燈



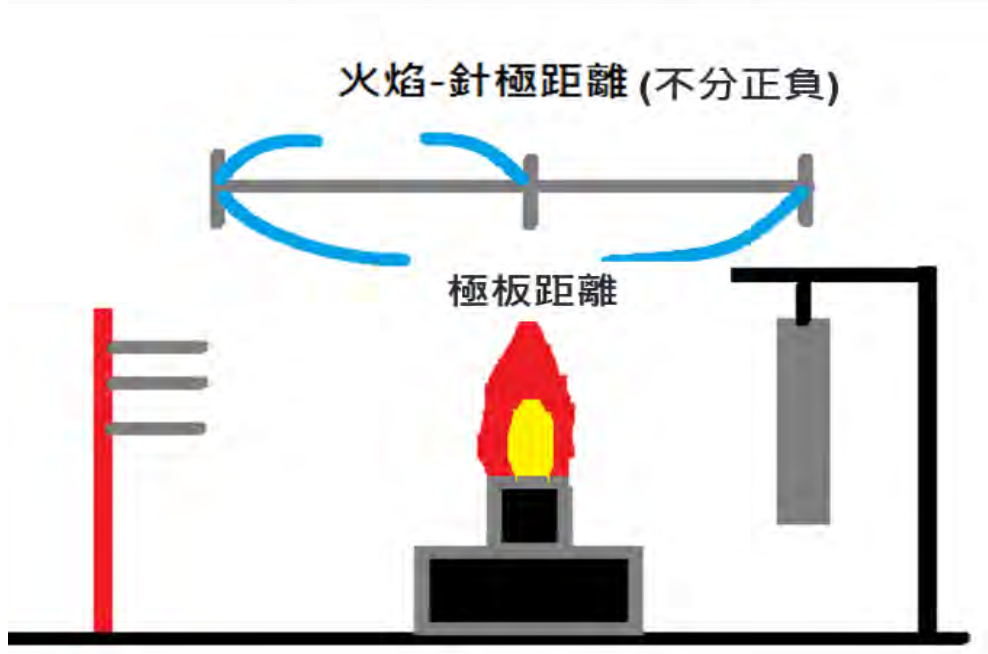
平面電極



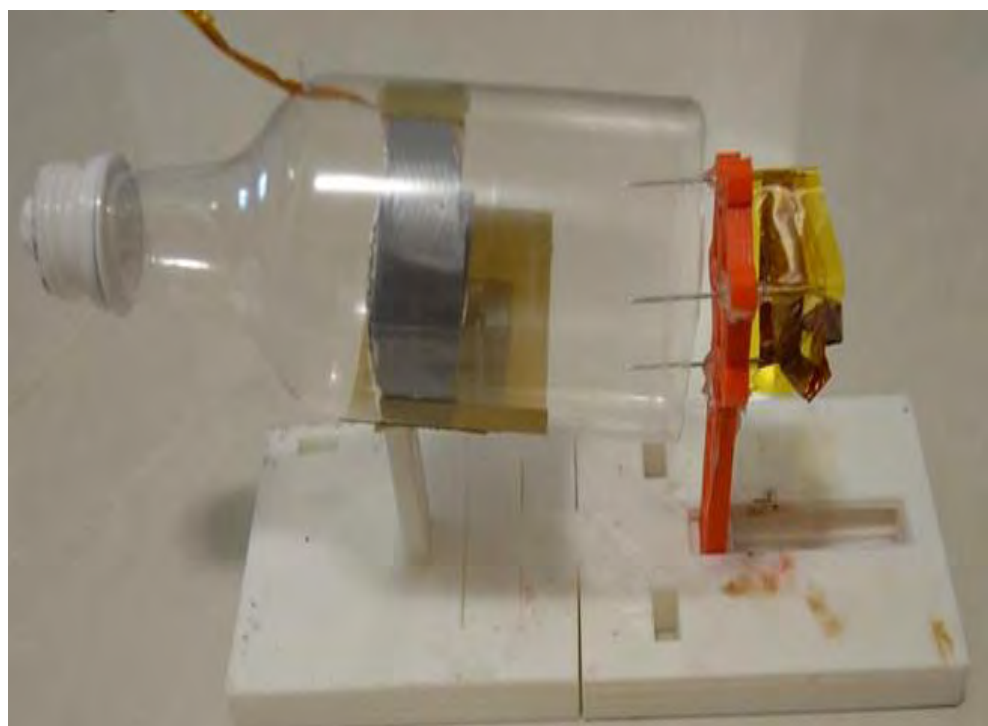
平面電極實驗架設 (示意圖)



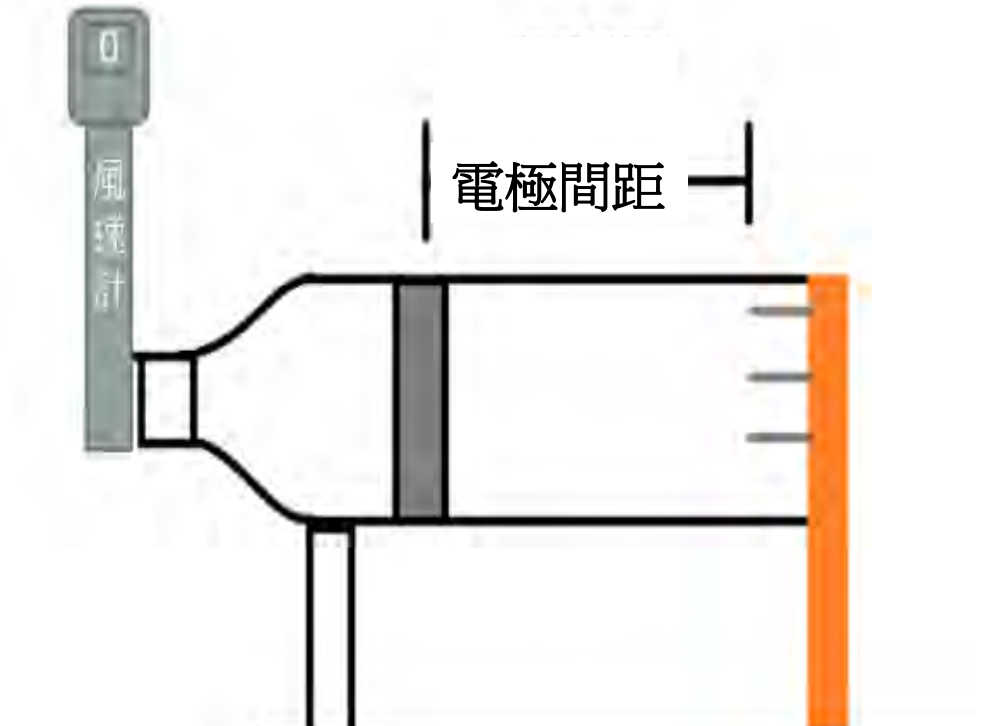
針型電極



針型電極實驗架設 (示意圖)



離子風風速測量設備

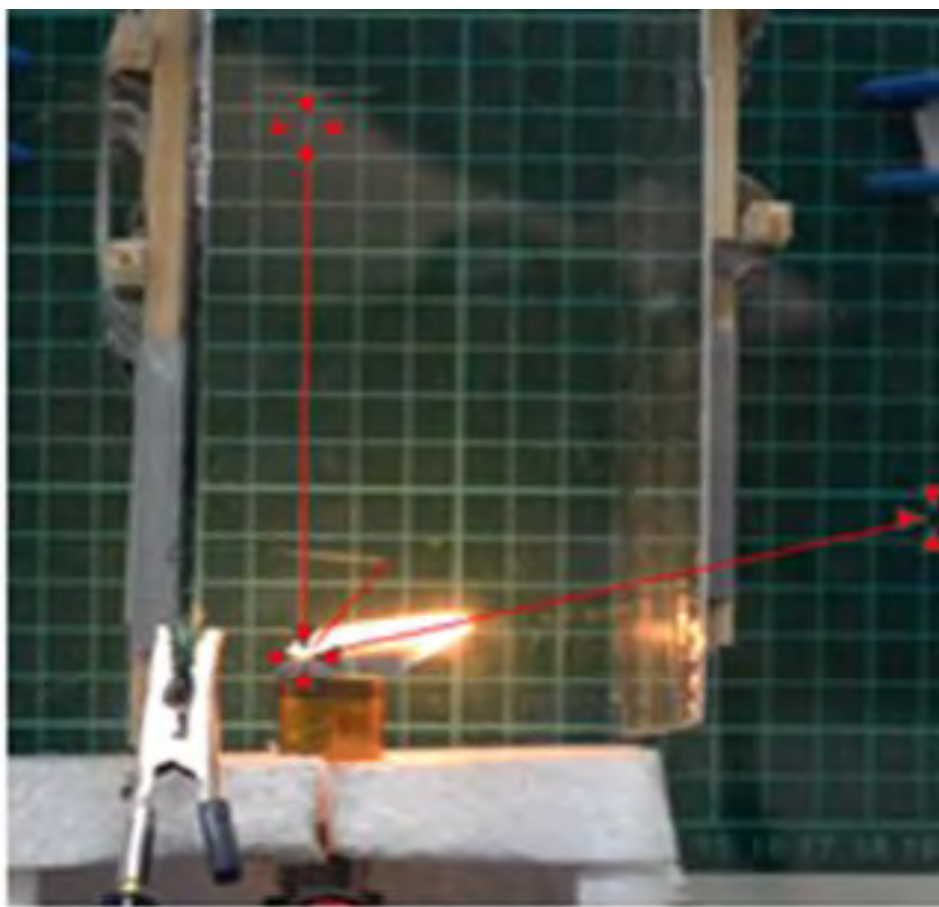


離子風風速測量實驗架設 (示意圖)

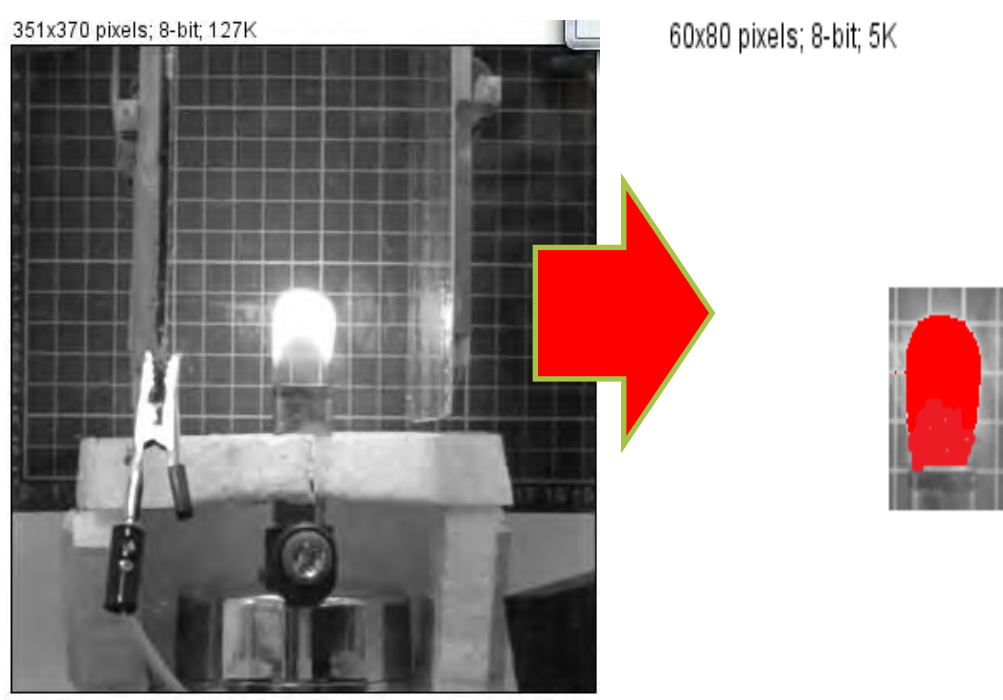


自製之變壓器

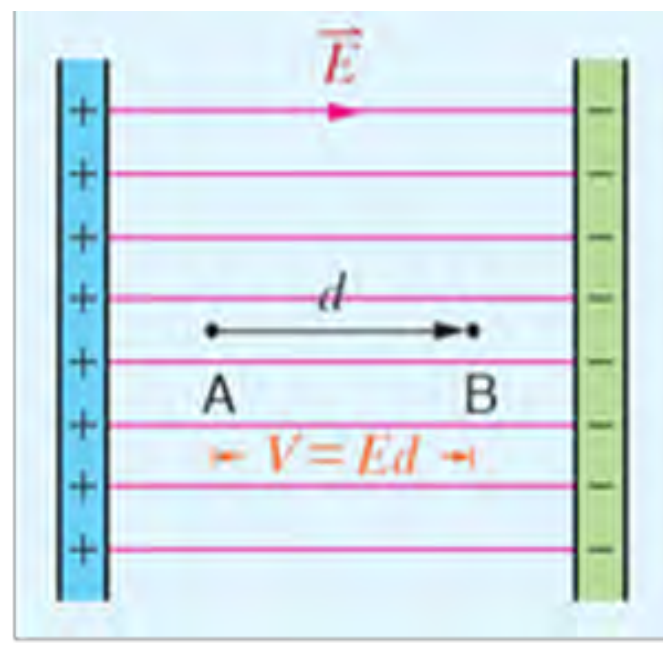
肆、干擾程度定義



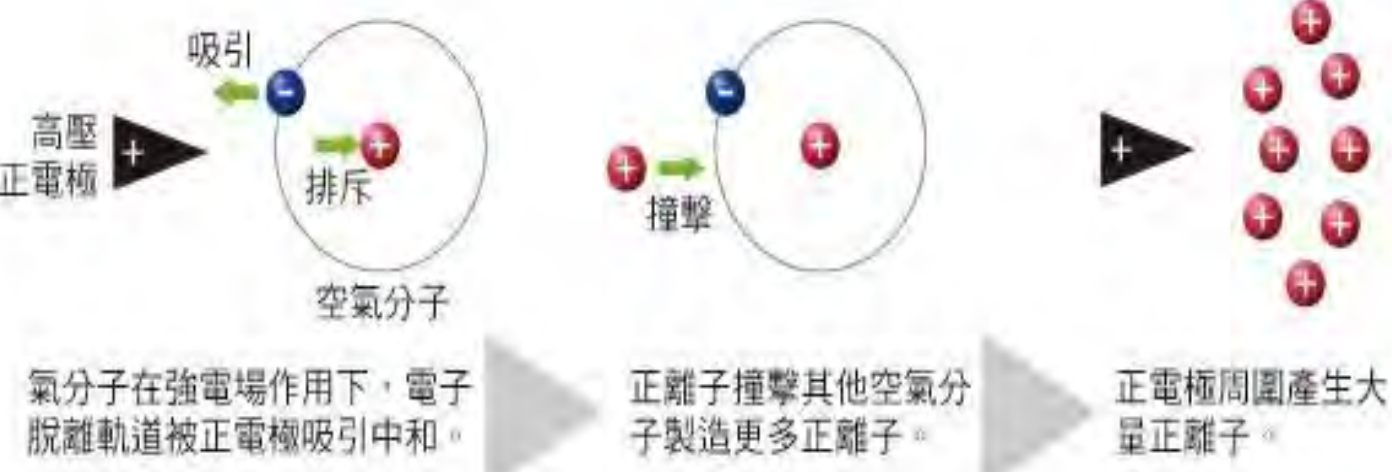
火焰偏折角度
(相機拍攝測量)



火焰面積
(相機拍攝測量)

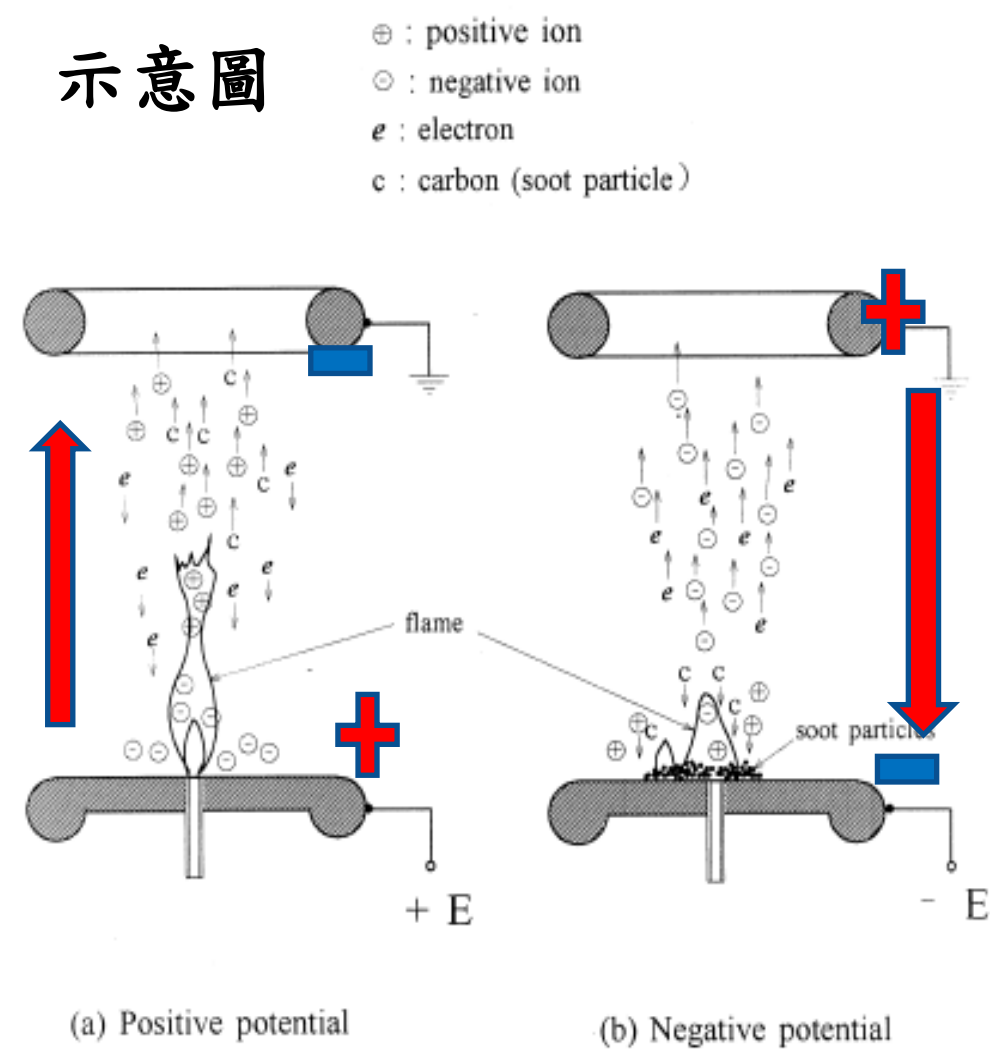


均勻電場 平面電極 (示意圖)



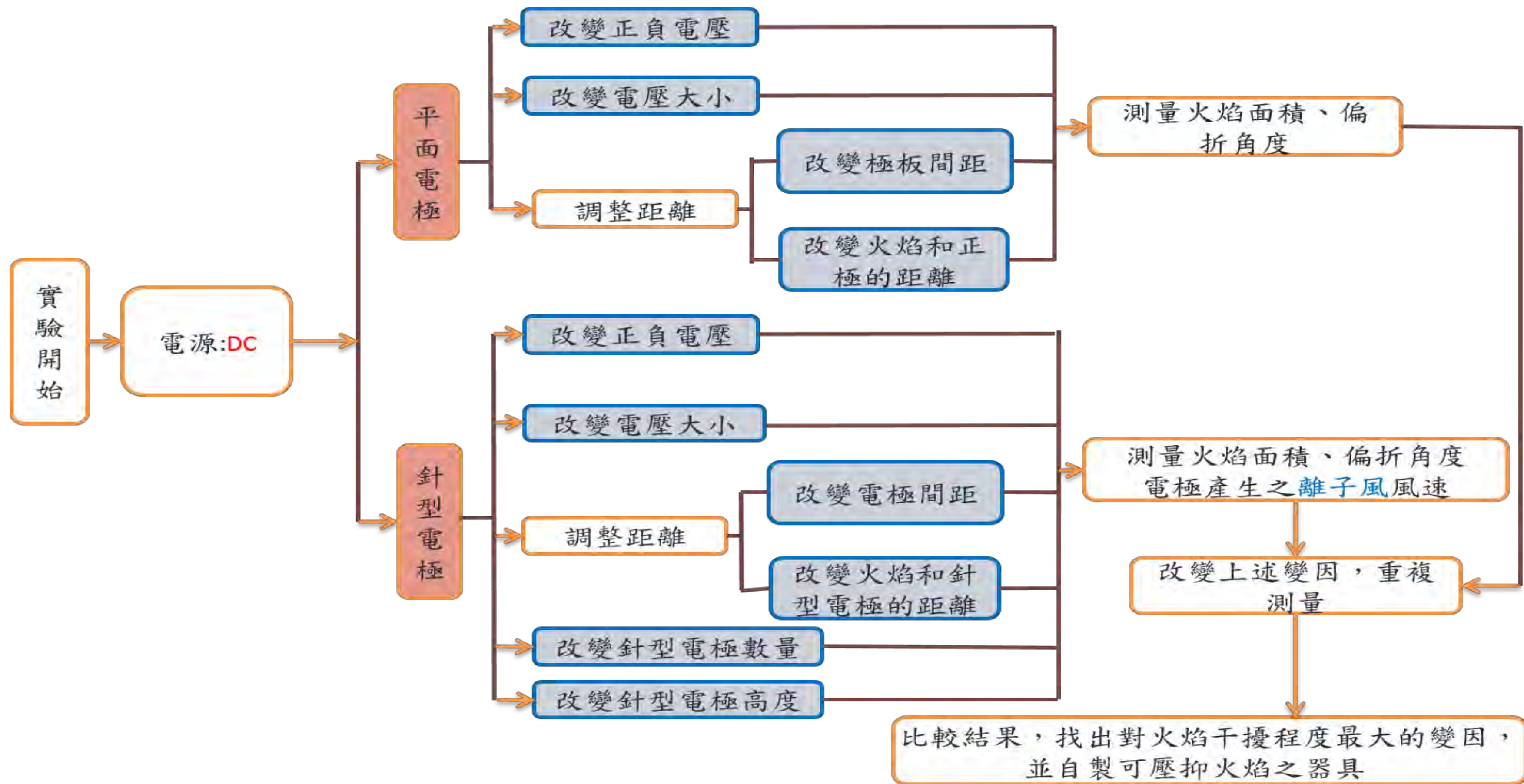
針型電極產生離子風 (示意圖)

伍、原理



火焰偏折方向 (示意圖)

陸、實驗流程圖



柒、研究結果

一、平面電極——施加正電壓或負電壓的差別

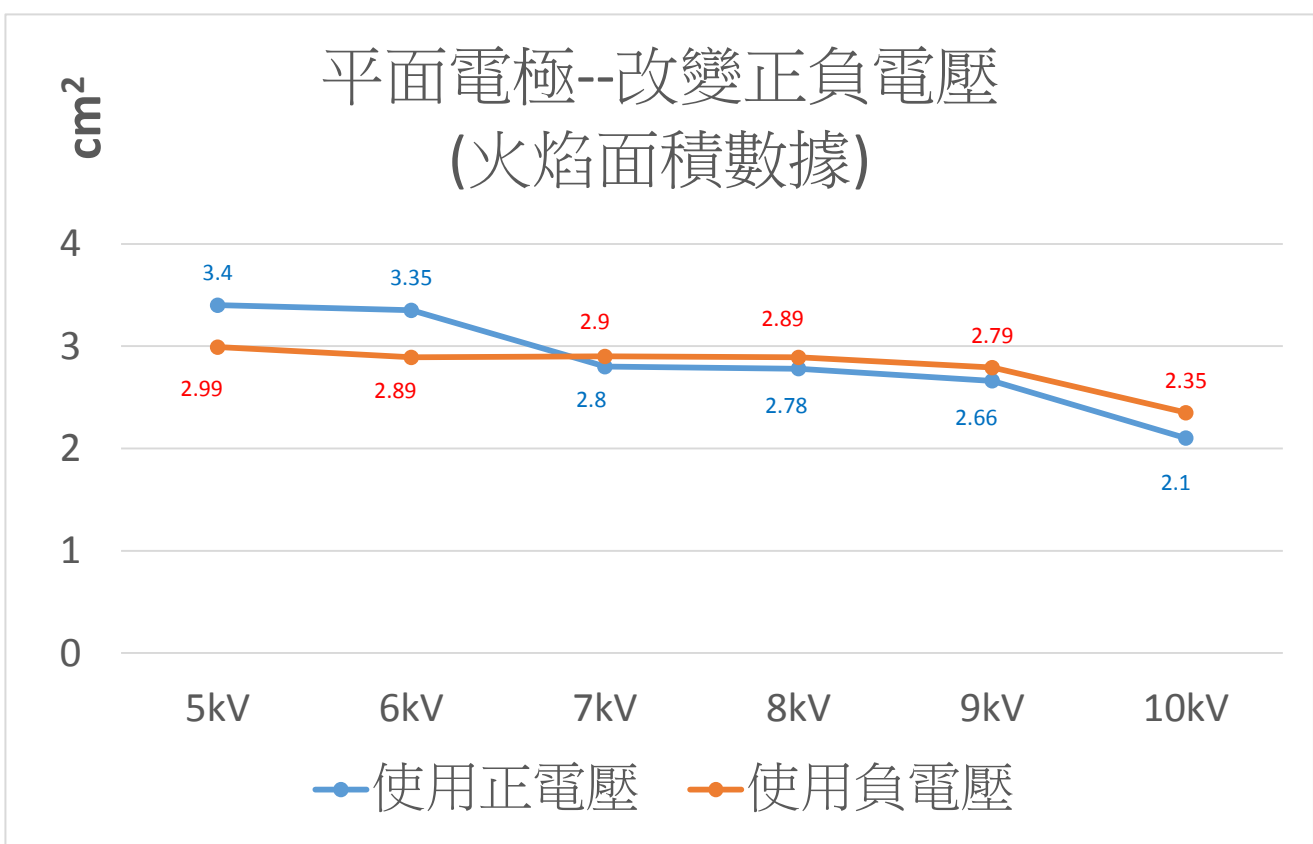


圖1：平面電極—改變正負電壓

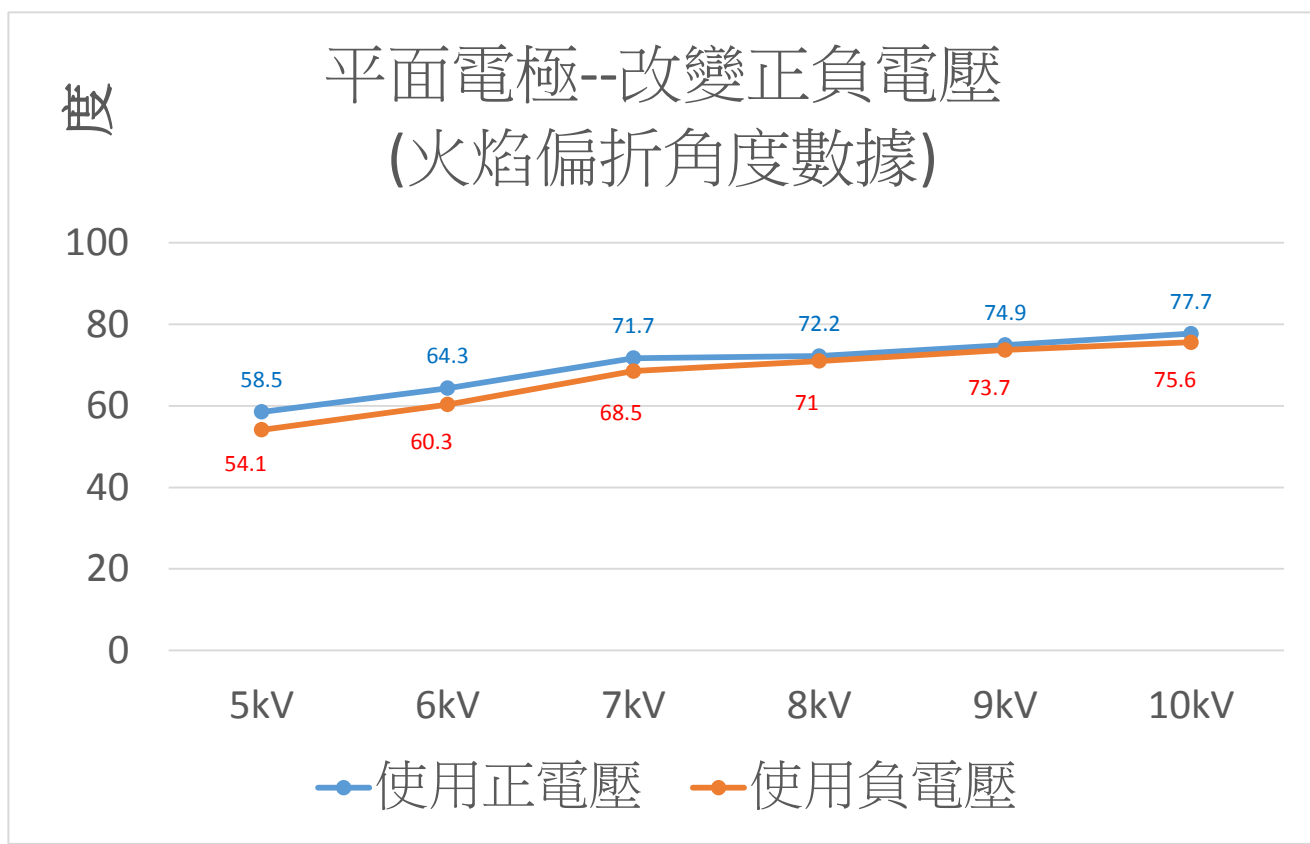


圖2：平面電極—改變正負電壓

由圖1、圖2可以看出不管電壓是正或是負，對火焰的干擾程度都是一致的。也就是在平面電極的實驗中，可以只討論正電壓對火焰的干擾結果。因為電壓是相對的，當一端電位高另一端就顯得低，一端低另外一端就顯得高，所以處於其中的火焰位於的等電位面是一致的。

三、平面電極——改變極板間距

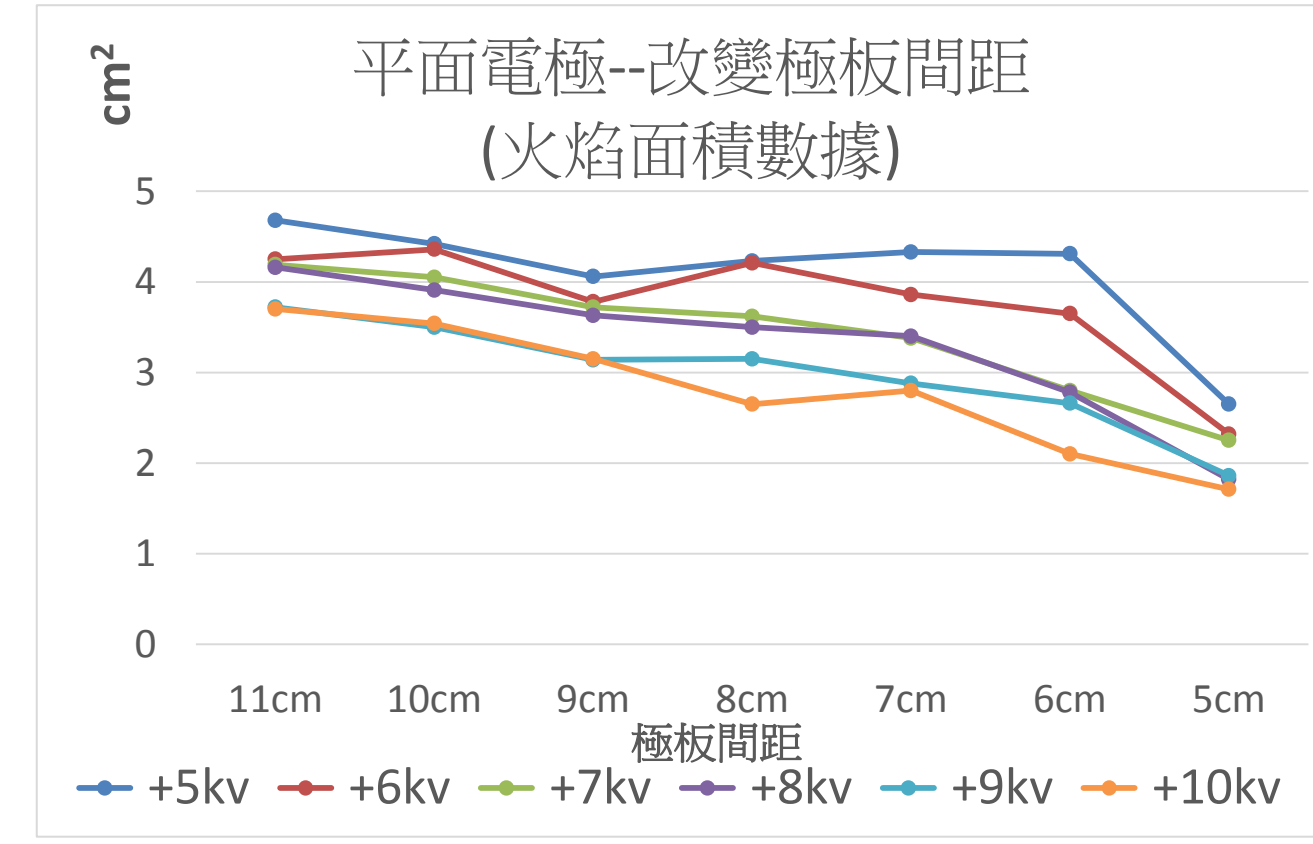


圖5：平面電極—改變極板間距

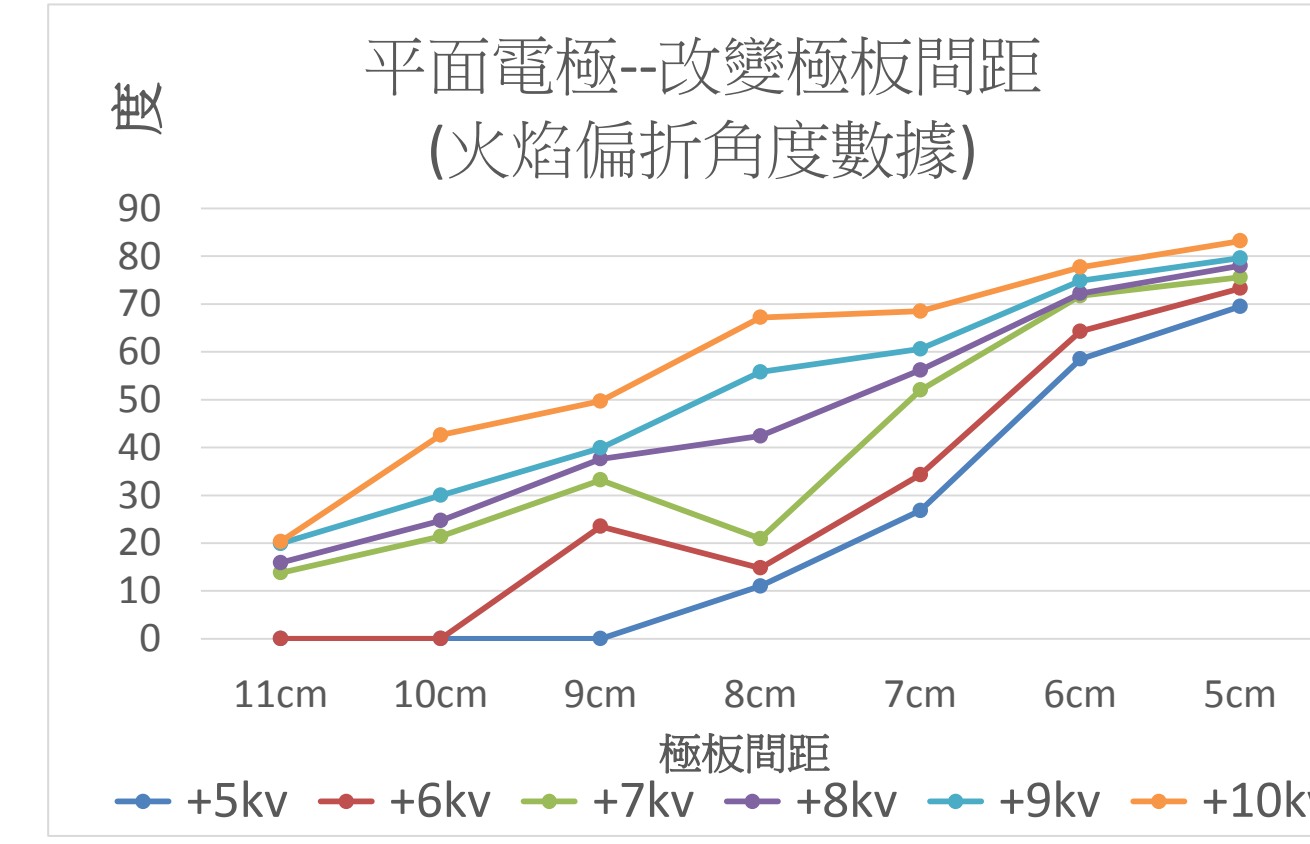


圖6：平面電極—改變極板間距

由圖5、圖6得出，極板間距愈小電場愈強，火焰受到的干擾就愈強烈。極板間距6cm時，電壓+9kV和+10kV會產生電弧；但極板間距5cm時，不管施加電壓大小(+5kV~10kV)，都會有電弧產生。可知極板間距6cm，電壓施加+8kV，在使用平面極板時，能避免產生電弧，而能有最佳火焰壓抑效果。

五、針型電極——施加正電壓或負電壓的差別

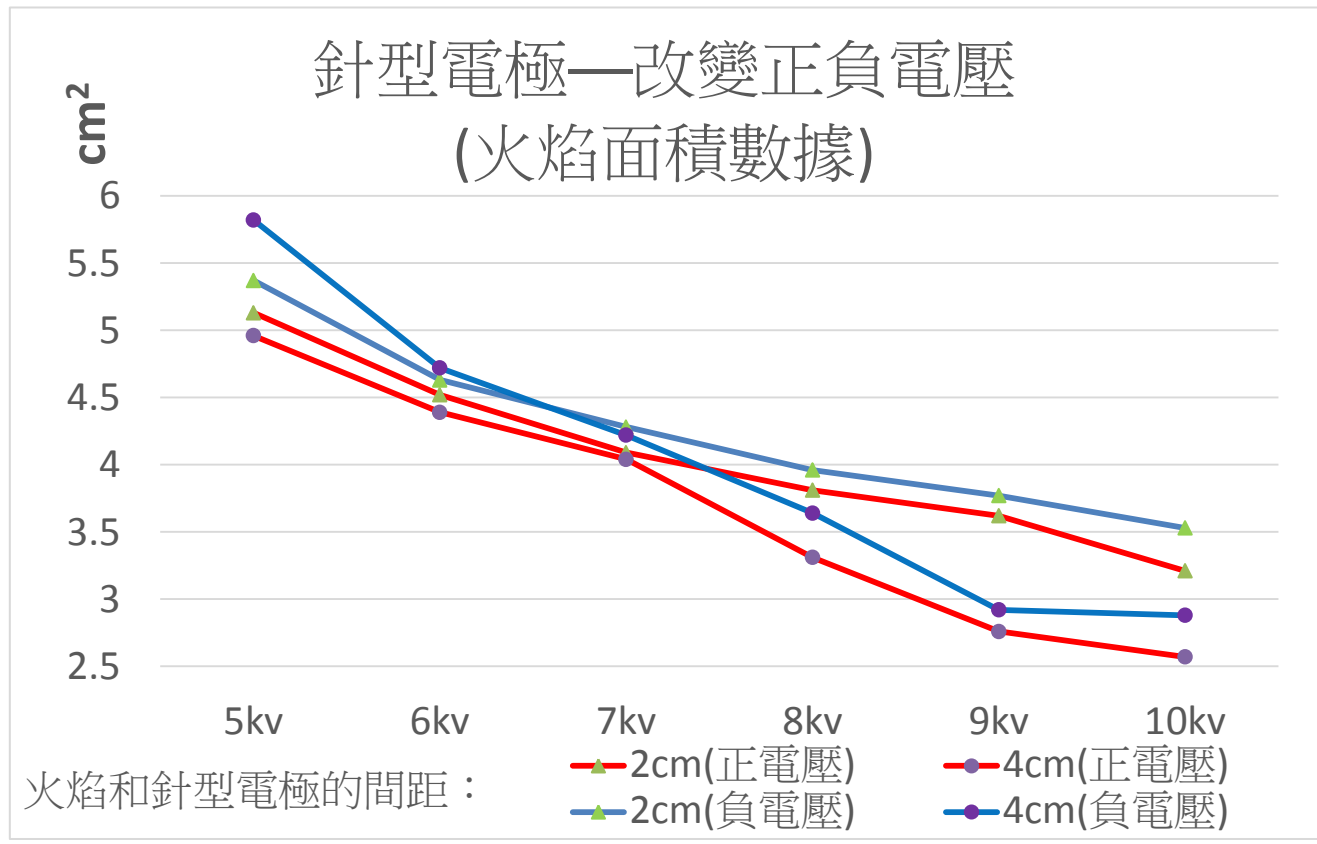


圖9：針型電極—改變正負電壓

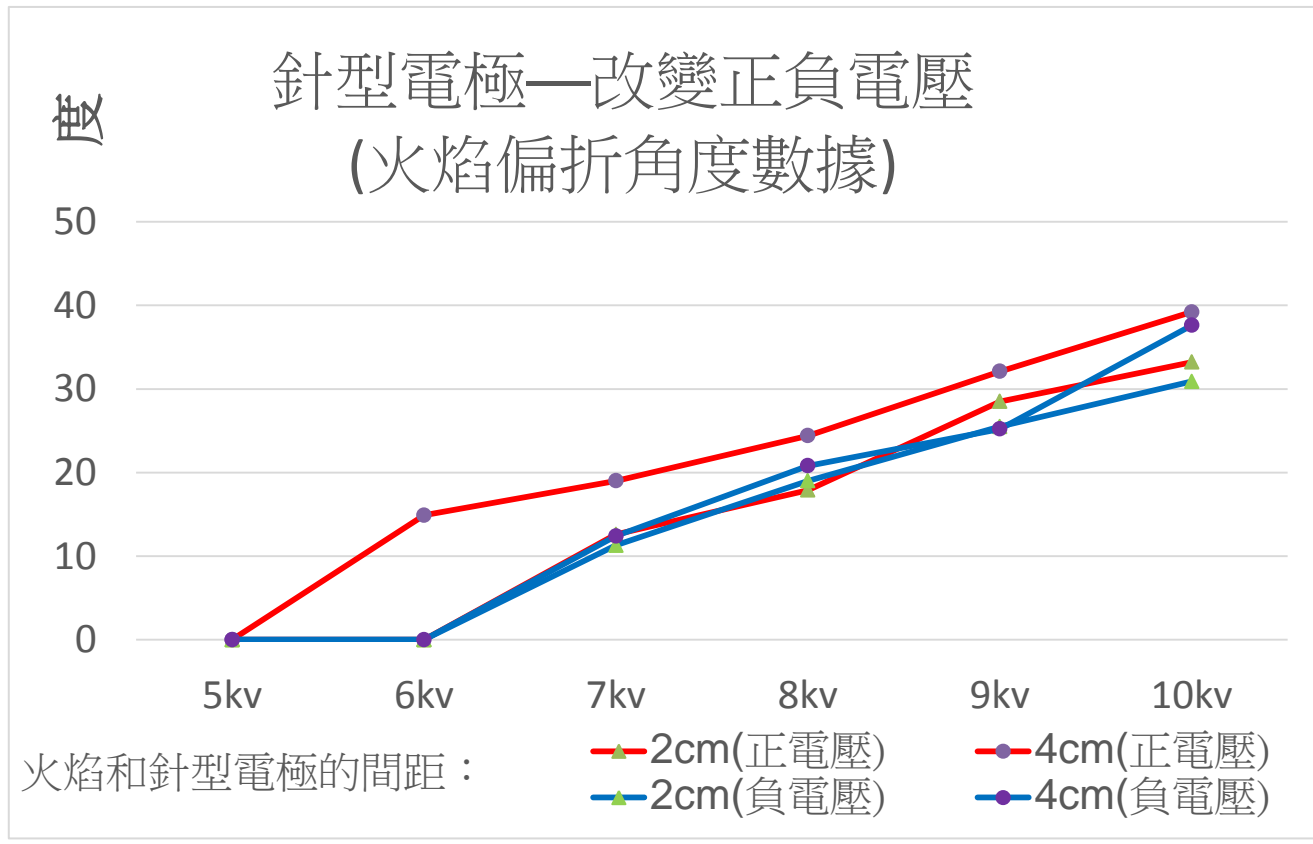


圖10：針型電極—改變正負電壓

由圖9、圖10可以看出，針型電極在使用正電壓的情況下，火焰面積較小，偏折角度較大。也就是正電壓對火焰的干擾比負電壓大。

七、針型電極——測量針型電極在改變正負電壓、不同電壓大小下，產生之離子風風速大小

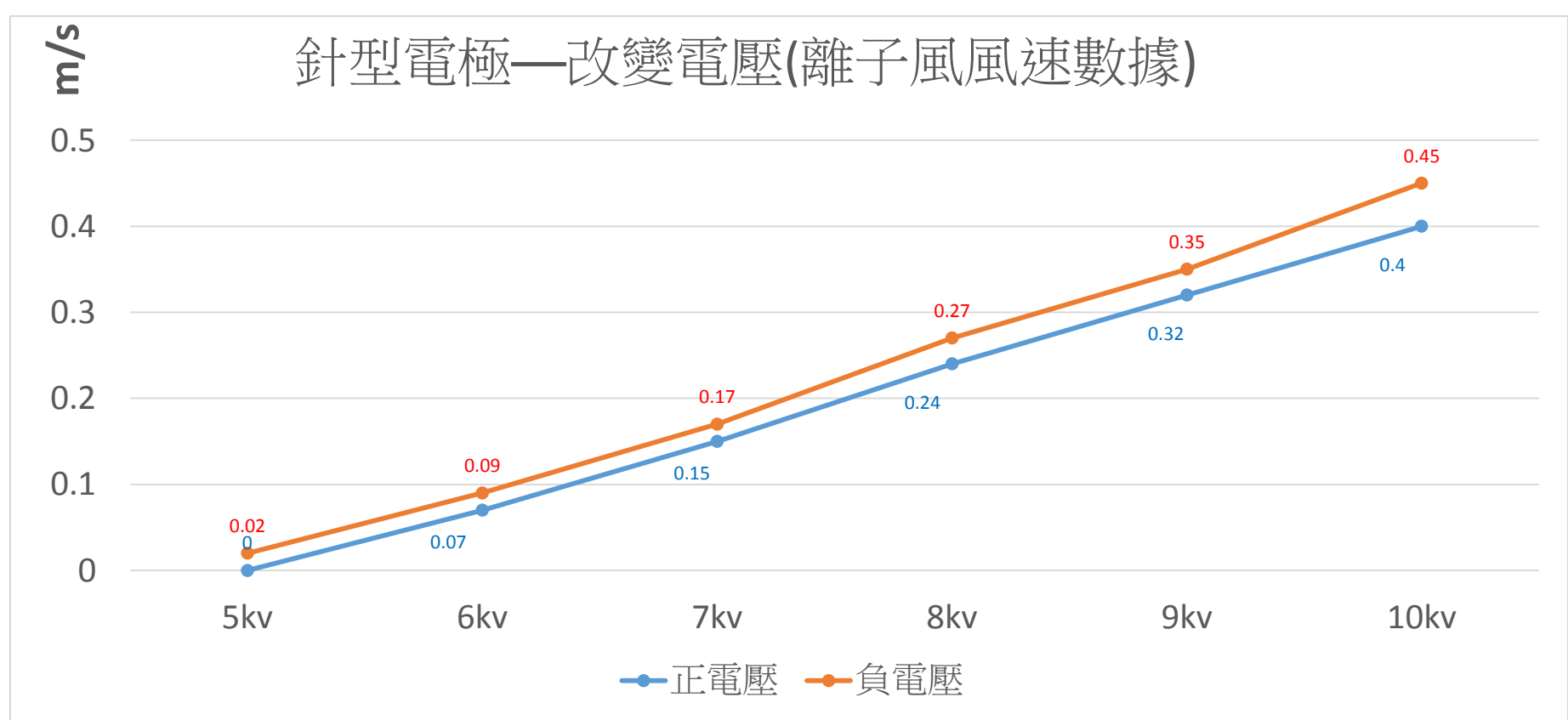


圖13：針型電極—改變電壓

由圖13可看出，電壓越高離子風風速越強，而且幾乎成正比。這代表電壓越高，火焰受到離子風干擾的程度越劇烈。

二、平面電極——改變電壓大小

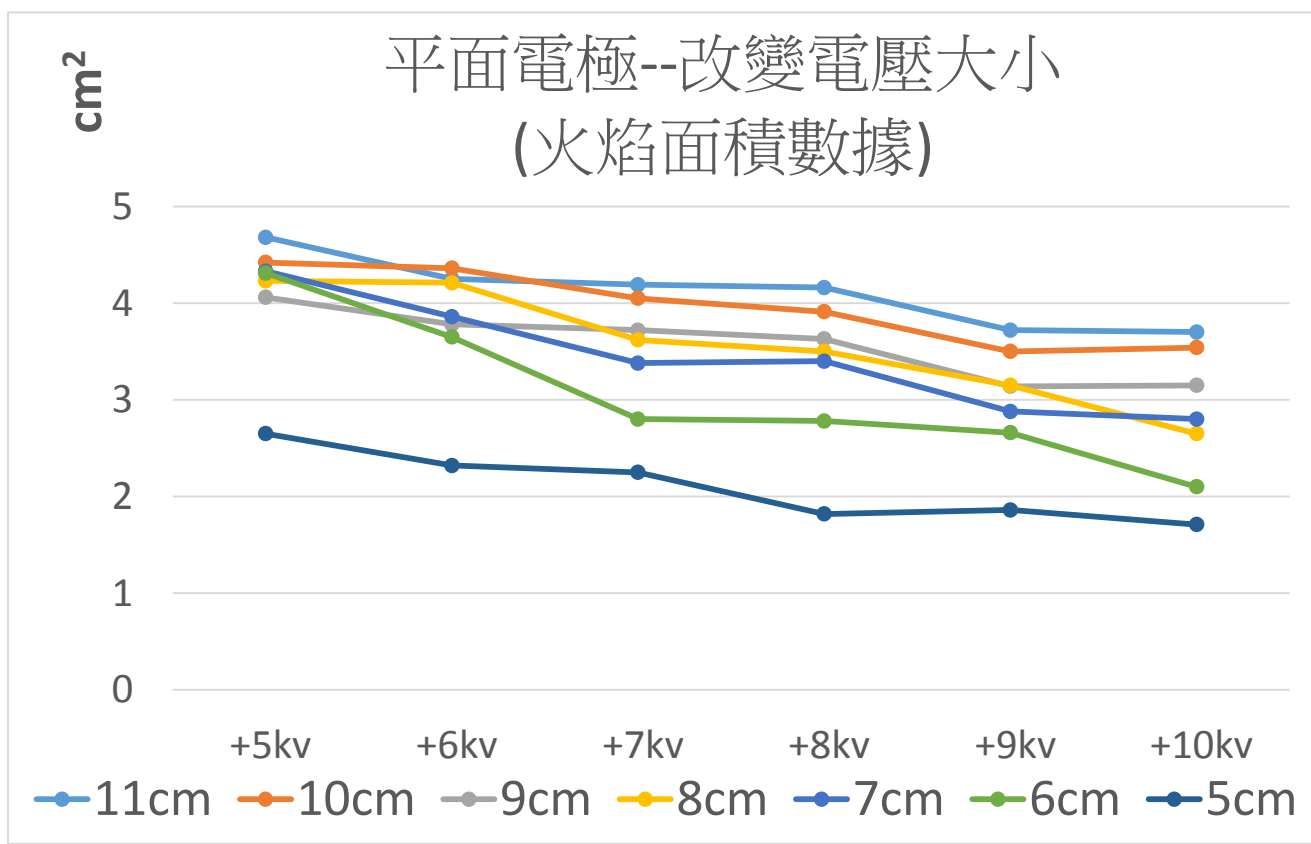


圖3：平面電極—改變電壓大小

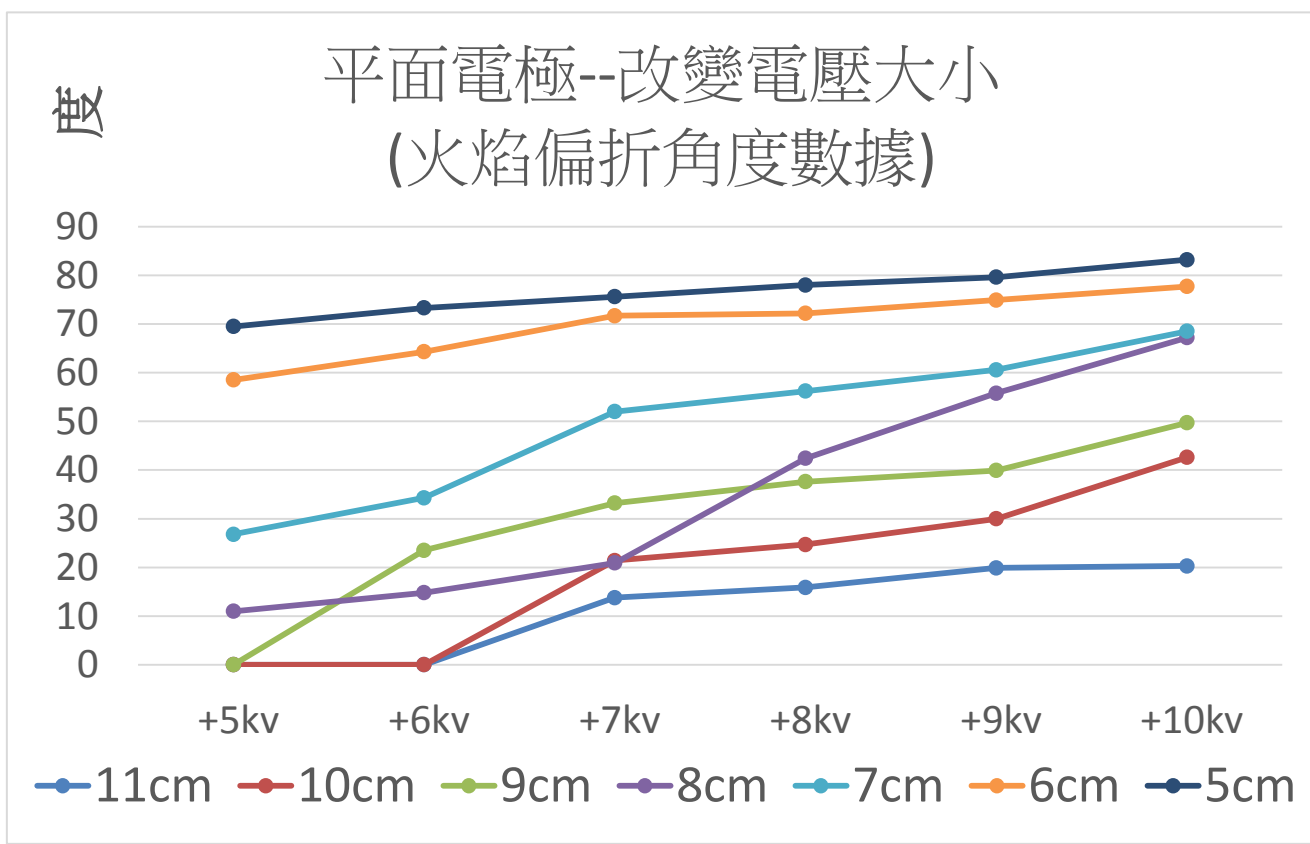


圖4：平面電極—改變電壓小

由圖3、圖4得出，電壓愈高電場愈強，火焰受到的干擾就愈強烈。

四、平面電極——改變火焰位置(火焰和正極的距離)，試證明兩極板間的電場近似均勻

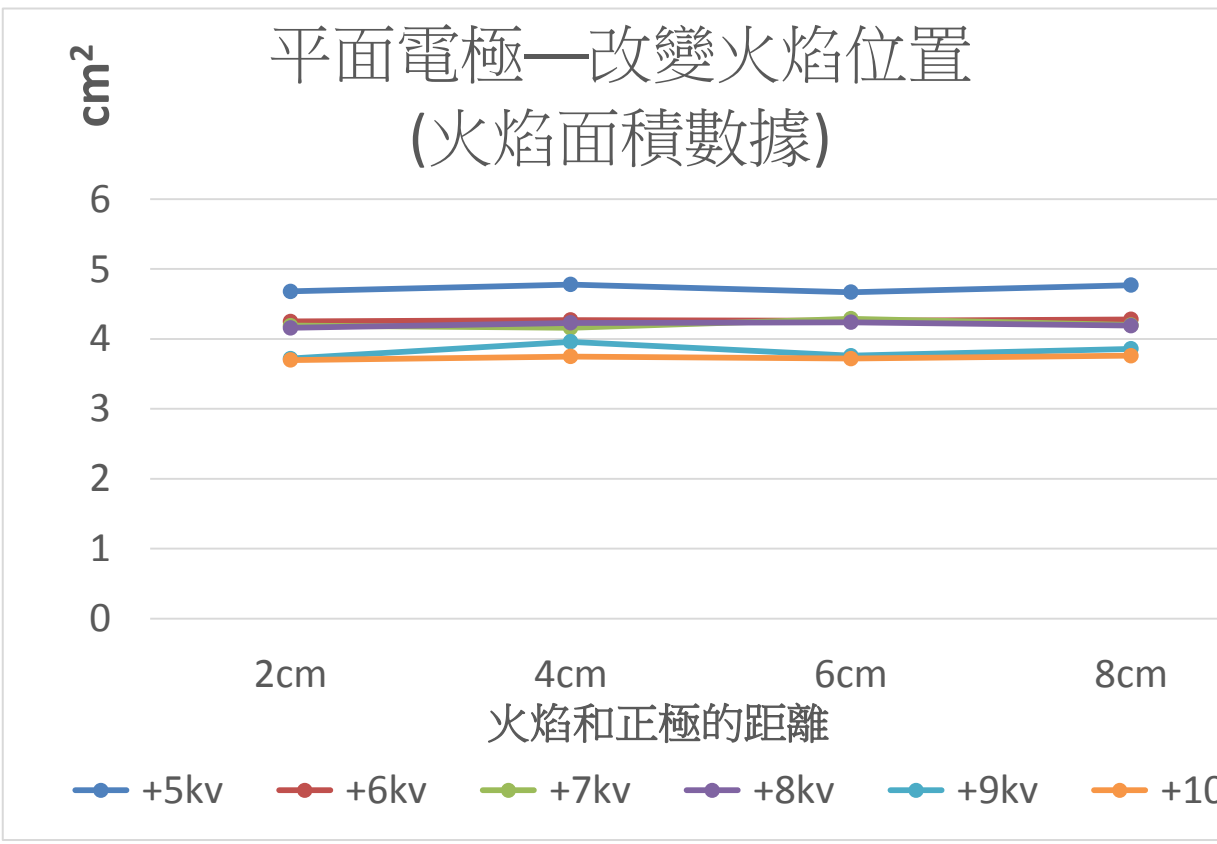


圖7：平面電極—改變火焰位置

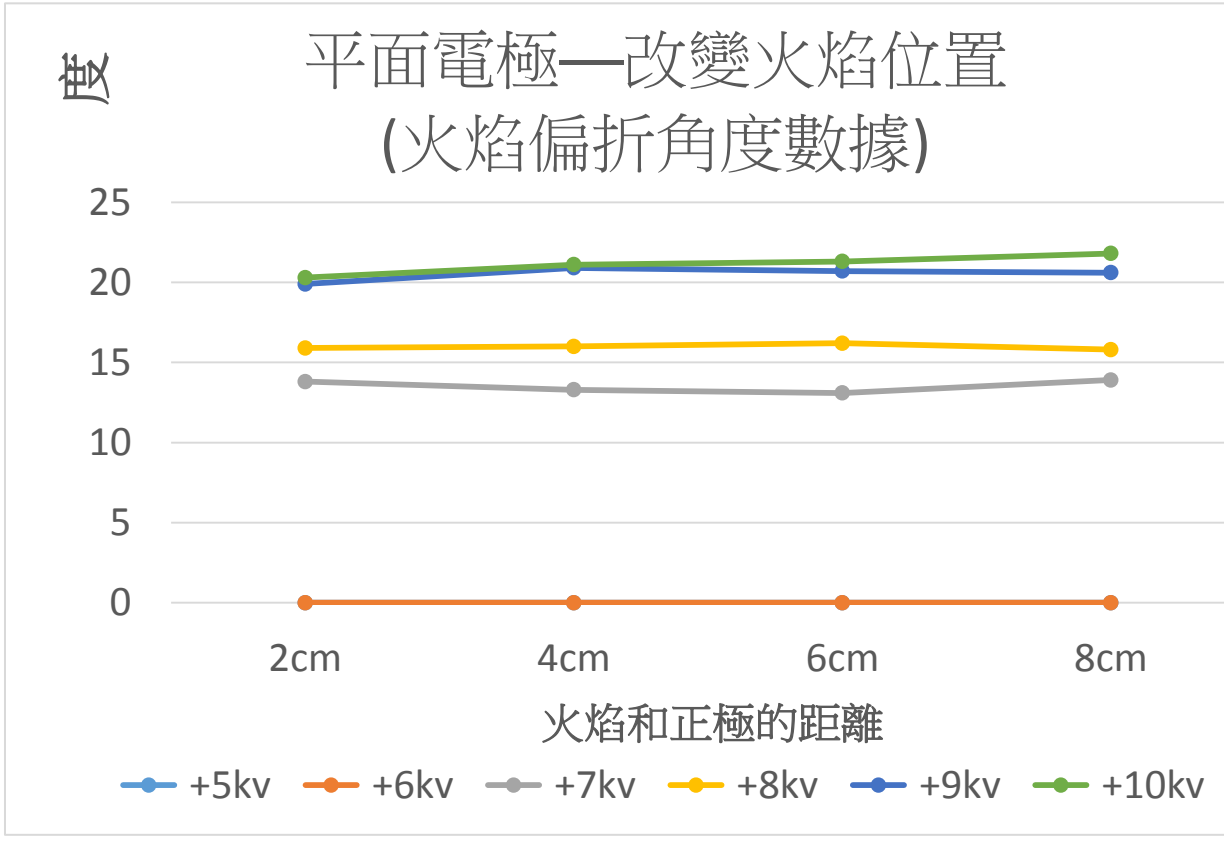


圖8：平面電極—改變火焰位置

從圖7、圖8看出，改變火焰位置(火焰和正極的距離)不會影響火焰受干擾的程度。由此可知兩平面極板中的電場應是近似均勻的。

六、針型電極——改變電壓大小

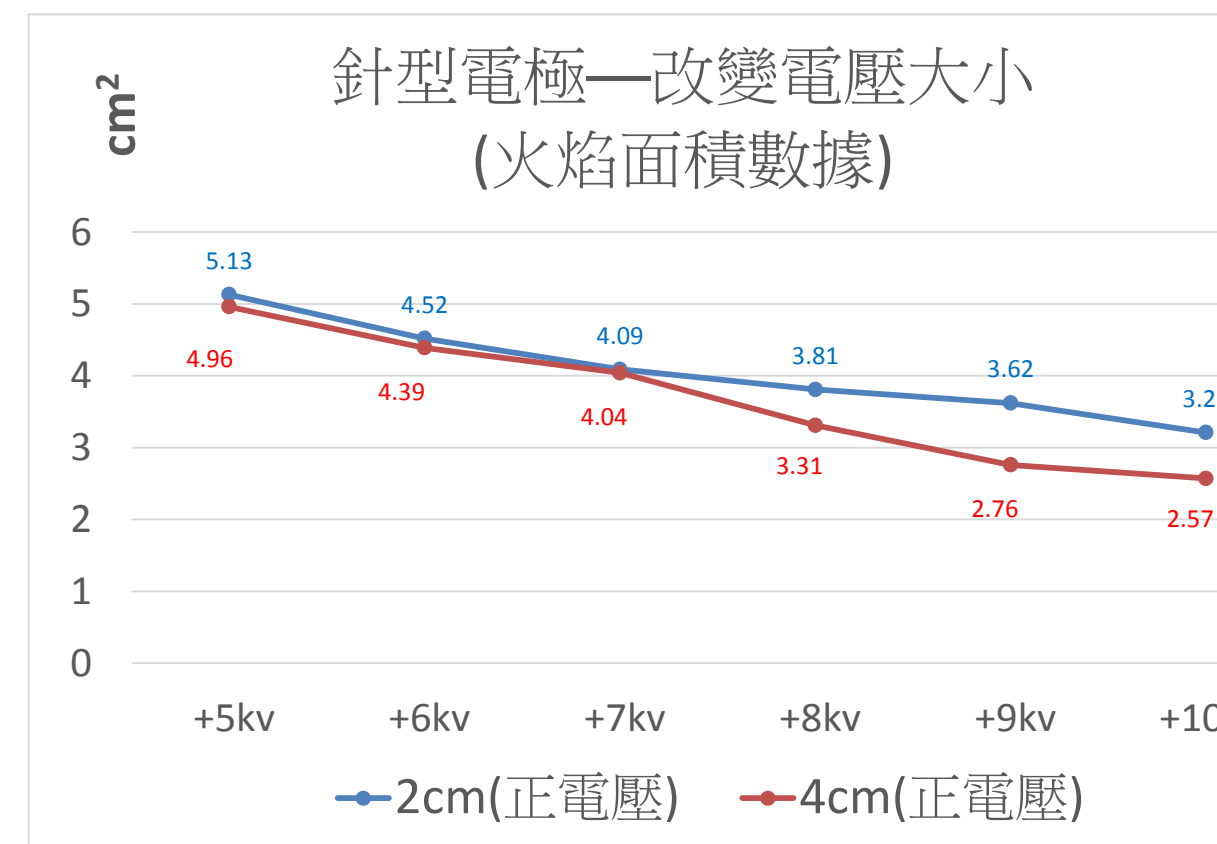


圖11：針型電極—改變電壓大小

從圖11、圖12來看，均是呈現電壓越大干擾程度越大。而在使用針型電極的情況下，增加了離子風的力量來吹動火焰，火焰會受到更多干擾。

八、針型電極——改變電極間距

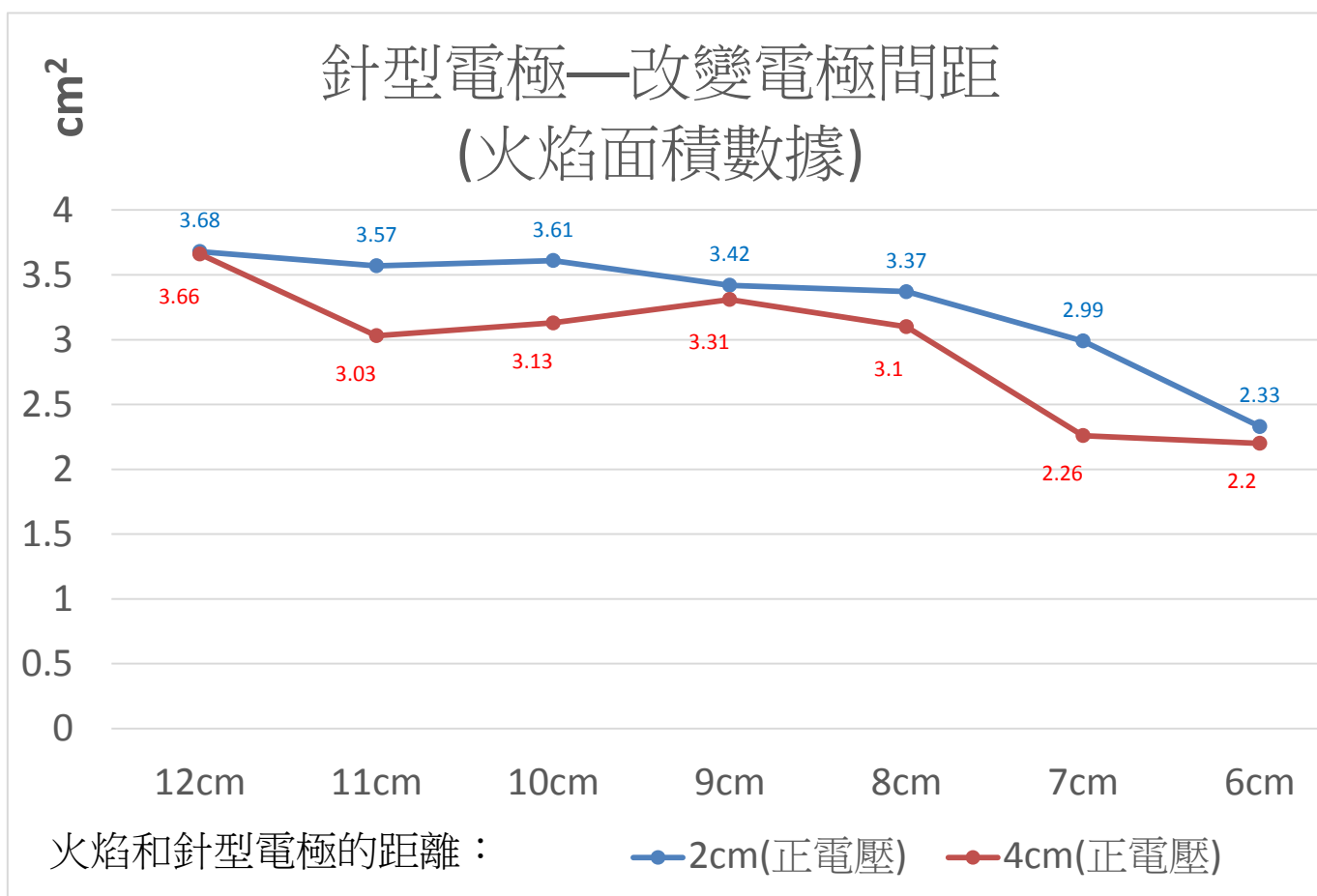


圖14：針型電極—改變電極間距

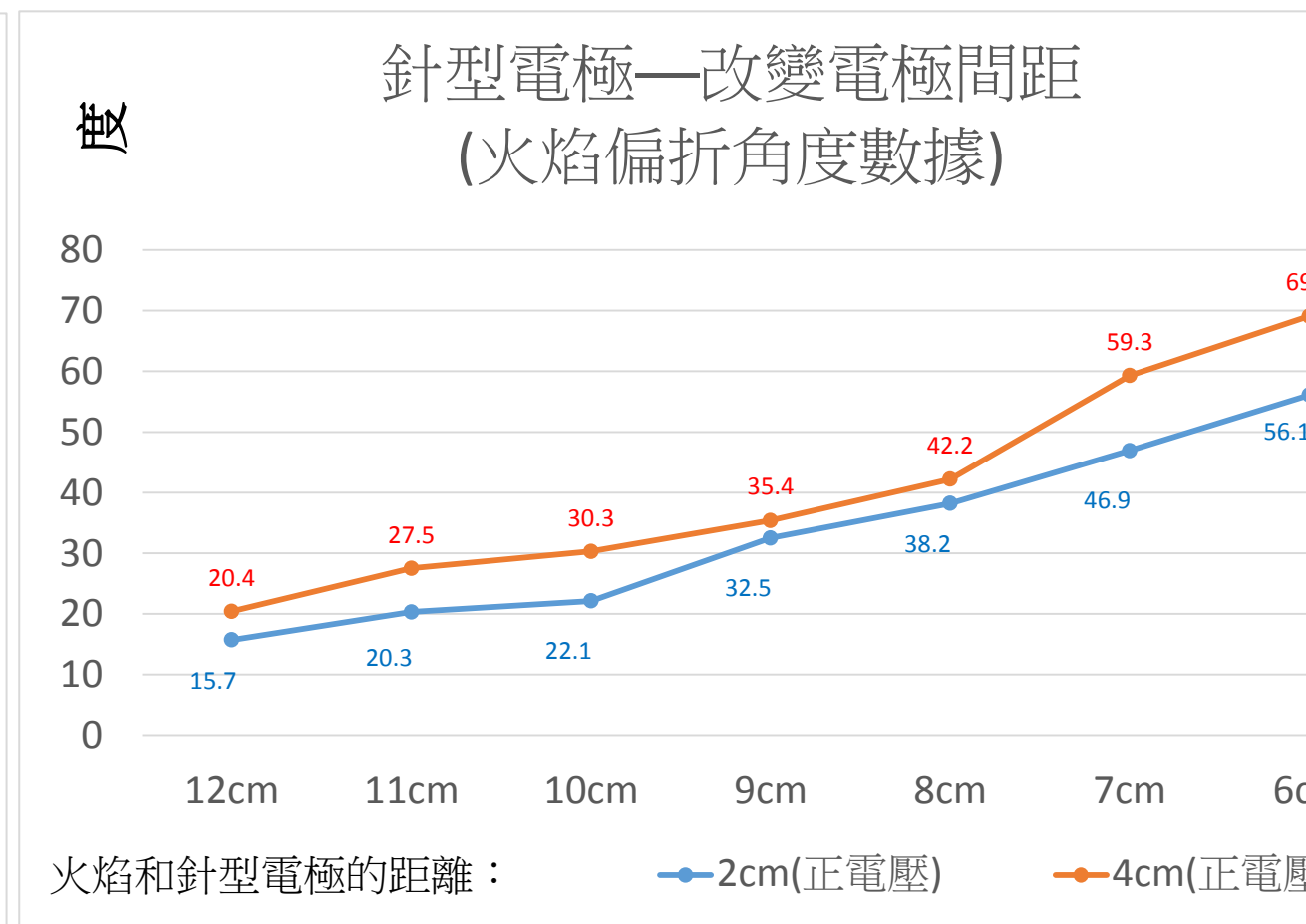


圖15：針型電極—改變電極間距

從圖14、圖15中看出，電極間距愈近火焰面積越小，偏折角度越大，也就是干擾愈明顯。電極間距5cm時，不管電壓是正是負，電壓大小5kV~10kV時電極間都會產生電弧。因此電極間距6cm、電壓正10kV時，應可達到能避免產生電弧的最佳火焰壓抑效果。

九、針型電極——改變針型電極數量

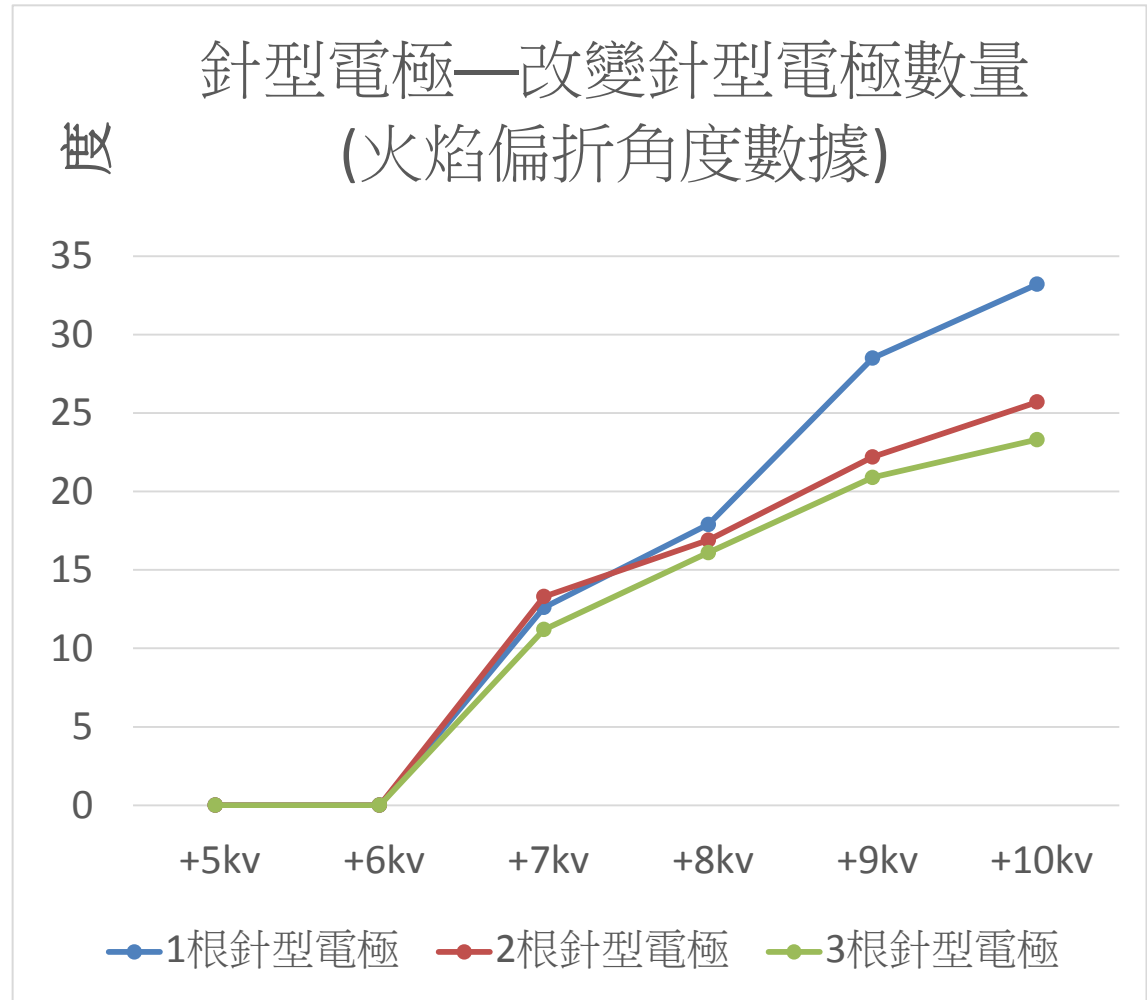


圖16：針型電極—改變針型電極數量

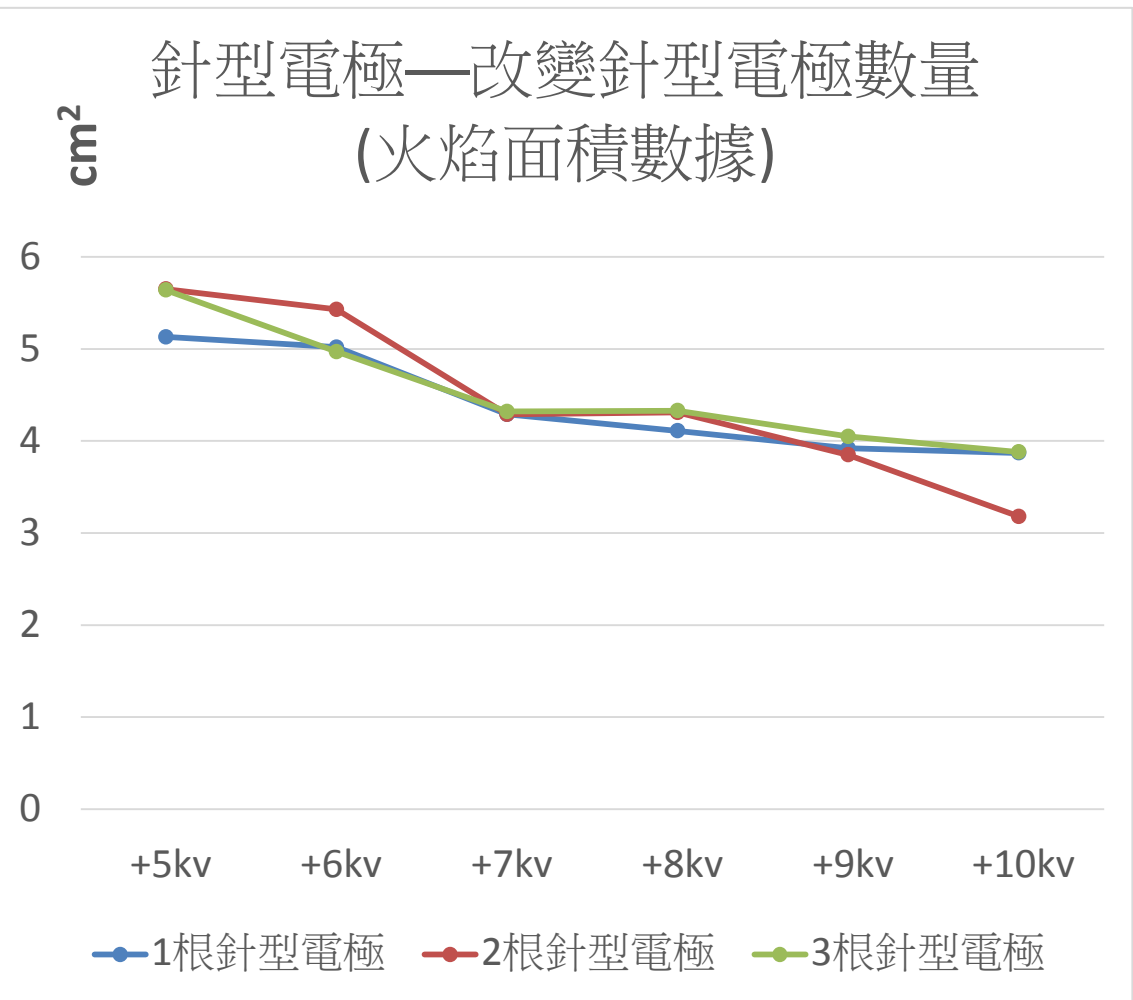


圖17：針型電極—改變針型電極數量

從圖16、圖17來看，針型電極數量不管幾根，隨電壓變化的趨勢都很接近。可以推論火焰干擾程度應是與針型電極數量無關。

十一、針型電極——改變火焰位置(火焰和針型電極的距離)

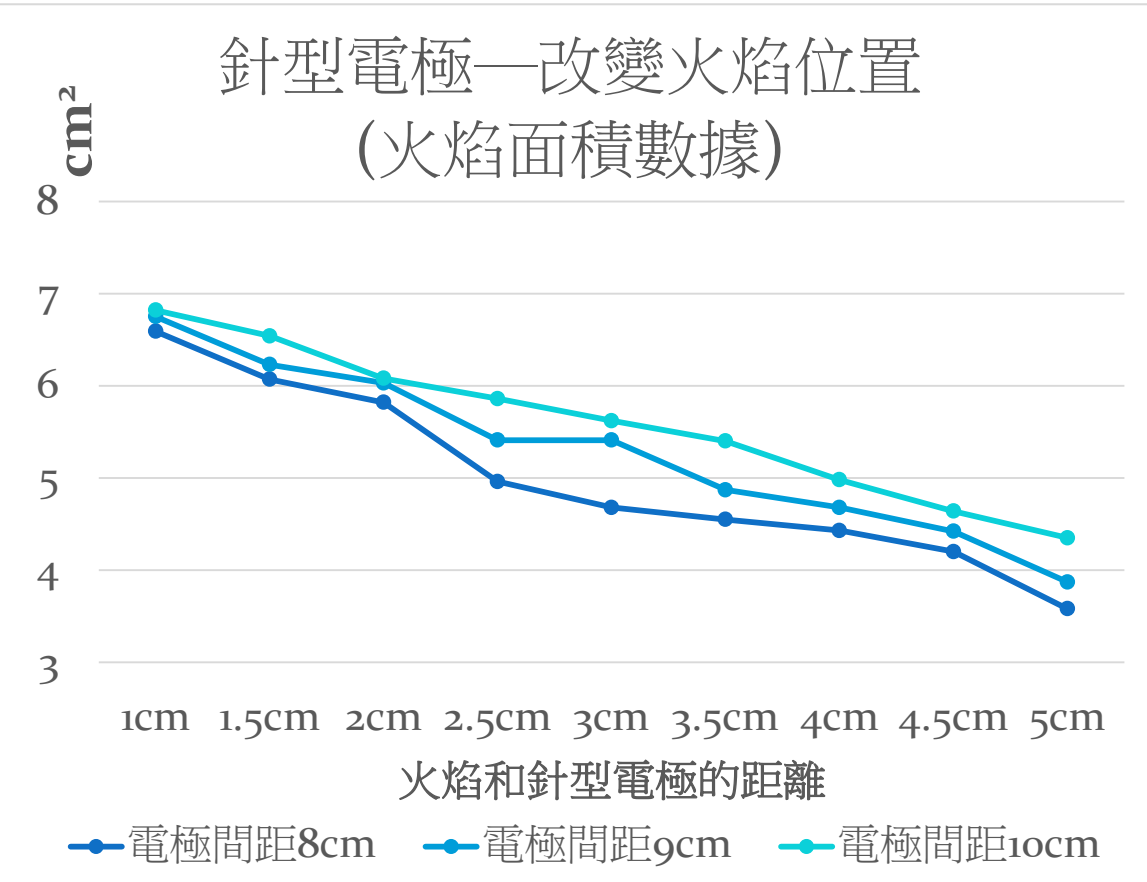


圖19：針型電極——改變火焰位置

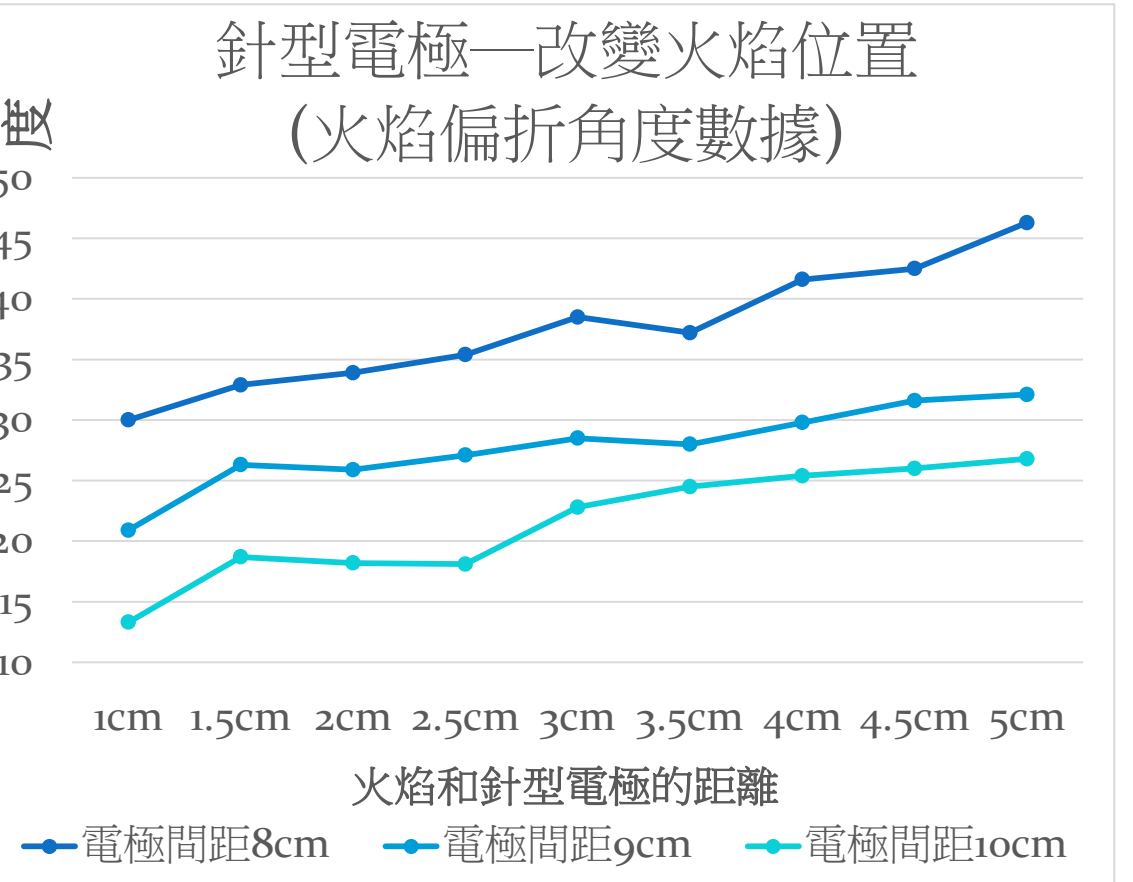


圖20：針型電極——改變火焰位置

從圖19、圖20可以看出，在使用正電壓且不管電極間距的情況下，隨著火焰和針型電極的距離增加，火焰受干擾程度都隨之增加。

十、針型電極——測量針型電極在不同電極間距、不同針型電極數量下，產生之離子風風速大小

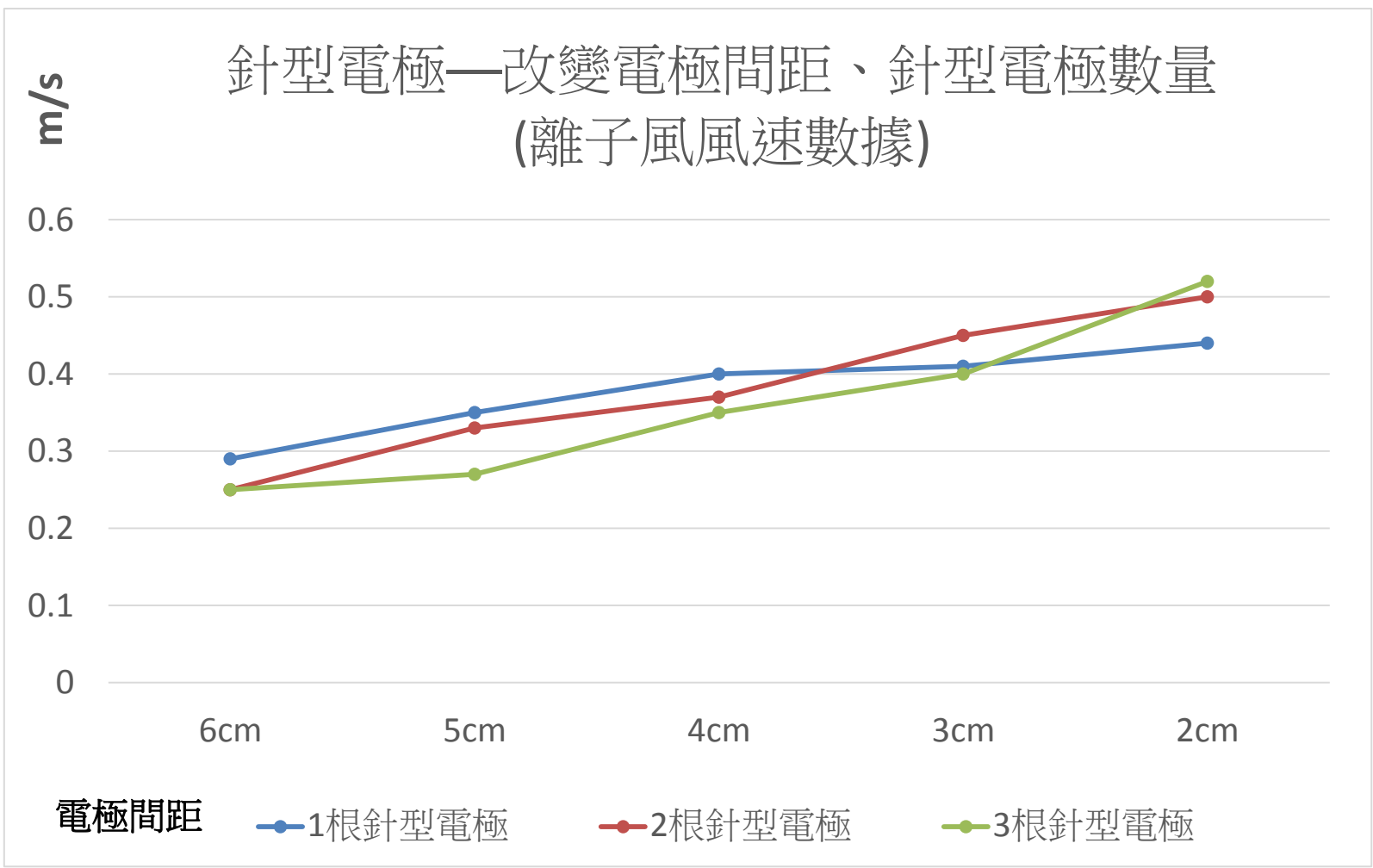


圖18：針型電極—改變電極間距、針型電極數量

由圖18可以看到，不管針型電極數量多寡，在相同電極間距下，產生之離子風風速幾乎是一致的。不管針型電極數量如何，隨著電極間距縮短，離子風對火焰產生的干擾會越來越大。

十二、針型電極——改變針型電極高度

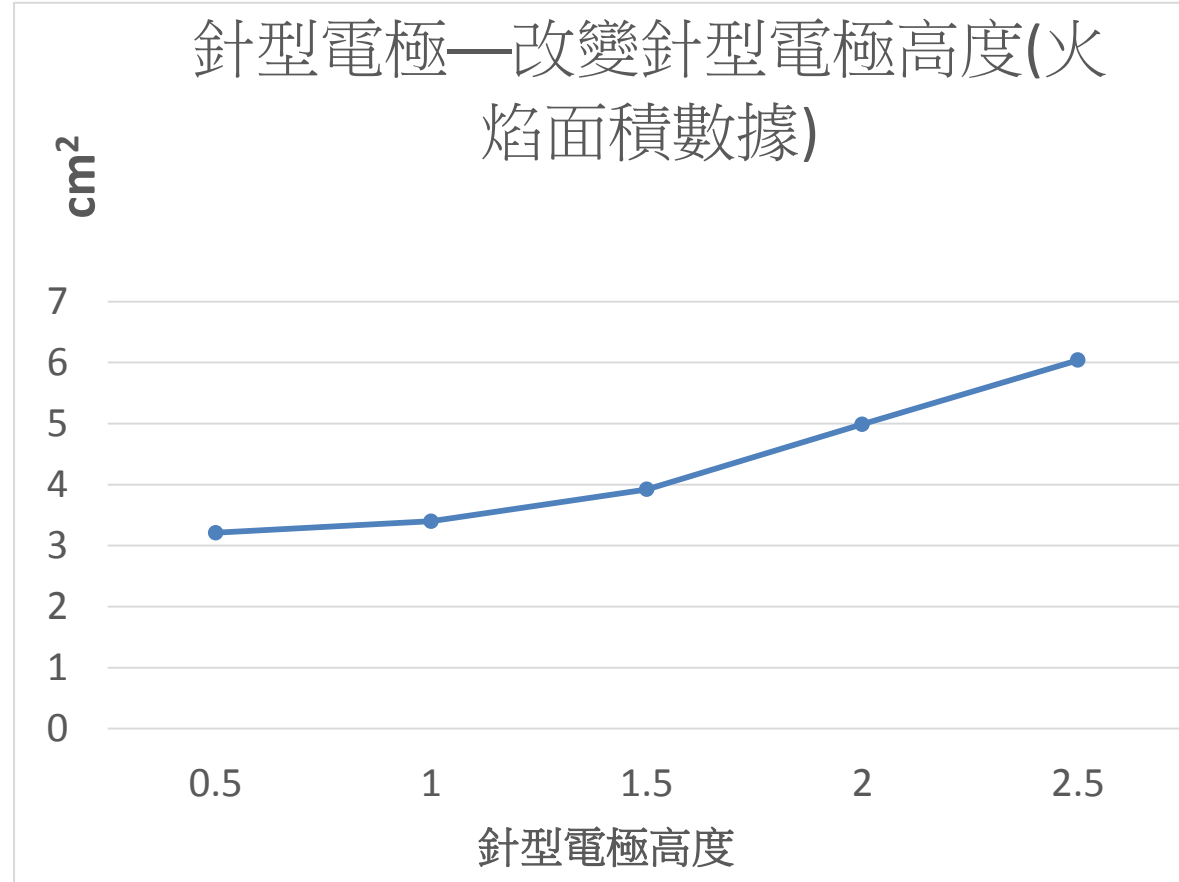


圖21：針型電極——改變針型電極高度

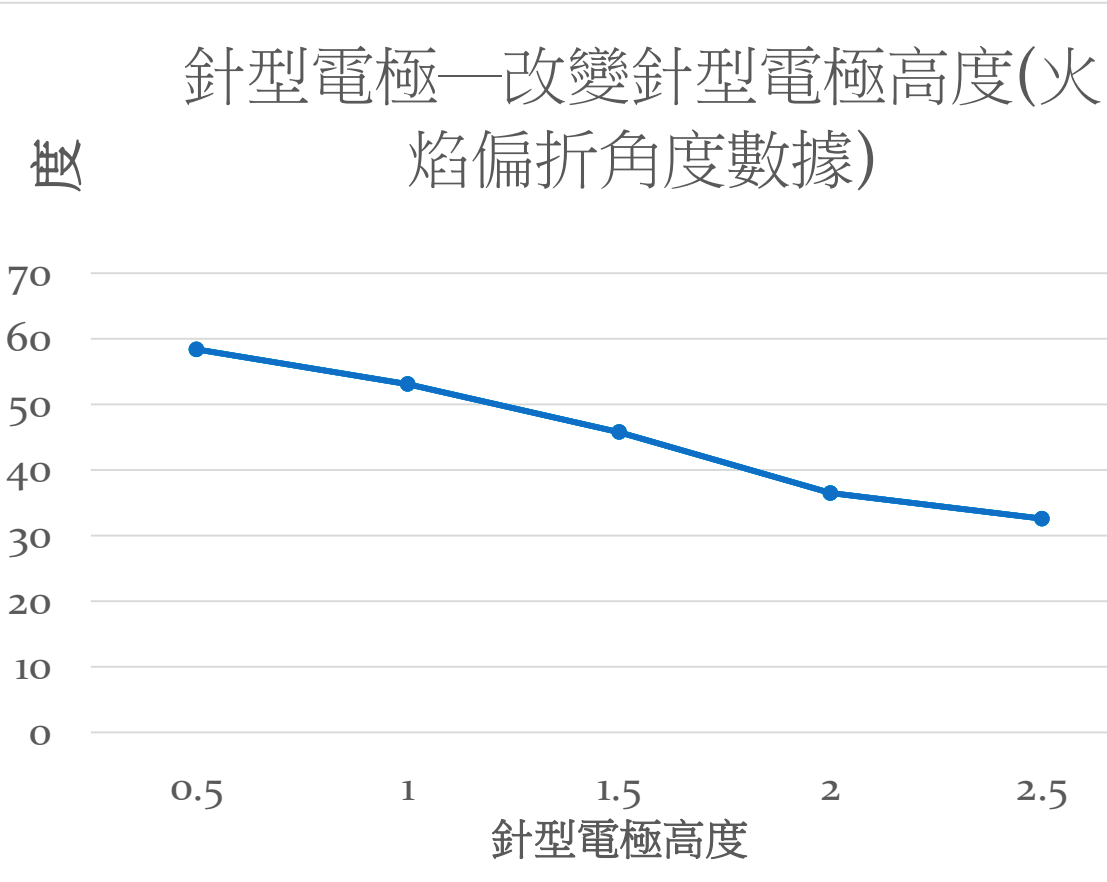


圖22：針型電極——改變針型電極高度

從圖21、圖22可以看出，隨針型電極高度的增加，火焰干擾程度隨之降低。這是因為擴散焰的燃料來自火焰下方，但不含氧化劑，所以在它還沒與空氣擴散接觸、獲得氧化劑前，就把它擾亂開來讓它無法反應，會對火焰產生較大的干擾。

捌、討論

一、

極板間距、電壓對應之電場大小(單位：kV/m)								
電壓	極板間距	11cm	10cm	9cm	8cm	7cm	6cm	5cm
+5kV		45.45	50	55.56	62.5	71.43	83.33	100
+6kV		54.55	60	66.67	75	85.71	100	120
+7kV		63.64	70	77.78	87.5	100	116.67	140
+8kV		72.73	80	88.89	100	114.29	133.33	160
+9kV		81.82	90	100	112.5	128.57	150	180
+10kV		90.91	100	111.11	125	142.86	166.67	200

二、

霓虹燈變壓器產生之電流為頻率60Htz之交流電，雖然利用自行製作之橋式全波整流器轉為正高壓電，但波形依然非直線狀。所以在使用這台變壓器進行火焰干擾時，會有些微誤差。

玖、結論

一、

在「平面極板」的實驗結果中得證明，不管使用的是正電壓或負電壓，如果電壓量值大小相等，正負電壓對火焰的干擾效果是一致的。

二、

在「平面極板」的實驗結果中可以得知，火焰受干擾程度與火焰和正極的距離無關。也就是兩極板中的電場近似均勻，火焰可以擺在兩極板中的任意位置。

三、

在「平面電極」的實驗結果中，得出當極板間距6cm、直流電壓8kV時，在使用平面電極的情況下，會有能避免產生電弧的**最佳火焰壓抑效果**。

四、

在「針型電極」的實驗結果中，可以得知當電極間距6cm、火焰和電極的距離盡量拉大(在兩電極間)、針型電極高度盡量縮小(在火焰底部之上)，且直流電壓正10kV時，會有能避免產生電弧的**最佳火焰抑制效果**。

五、

在「針型電極」的實驗結果中，得知火焰受干擾的程度大小與改變針型電極數量無關聯。

六、

在「針型電極測量離子風風速大小」的實驗結果中，可以得知離子風強度的變化，吻合改變特定變因(電壓大小、電極間距、針型電極數量)時對火焰干擾程度的變化。

七、

最後利用這些參數，使用自耦變壓器連接霓虹燈變壓器，再外接整流器，產生正高壓電並調整至所需電壓數。施加在平面極板或針型電極上。並在壓抑火焰時，遵守各自能獲得最佳火焰壓抑效果之參數(變因)。

拾、未來展望

一、

本研究自製之變壓器，使用霓虹燈變壓器，外接上自耦變壓器調控。成本低廉，易於普及化。未來可望做為另類滅火方案。

二、

未來如應用在火場，為避免高壓電的危險，可再外接**限流器**，設定上限電流值。可以避免電弧的產生，以及生物或人類觸電致死的可能。