

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 物理科

030103

「凌波微步」--- 微波電漿的產生方法及變因之
研究

學校名稱：臺中市立居仁國民中學

作者： 國一 謝沂勳 國一 謝沛航	指導老師： 張維倫 蔡明致
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：微波(microwave)、集膚效應(Skin effect)、
電漿 (plasma)

摘要

本研究依據「微波電場」造成導體「集膚效應」的原理，希望探討葡萄在微波爐中產生微波電漿的產生方法及影響因素。過程：進行聚丙烯酸鈉橫截面直徑大小、微波強度、鋁箔紙角度、線圈間距及線圈圈數等對電漿產生的影響。藉由本研究實驗結果證實：在微波電場中對導體產生的集膚效應，進而激發表面尖端放電進而引發周圍氣體被激發成為離子態進而進入電漿態。而當線圈圈數變多時，會發生短路現象，釋放高溫高熱，使溫度和亮度均升高，但也造成電壓相對下降。我們也進行了線圈金屬材質的實驗，發現鐵(鉛線)因為是磁性物質，因此能夠產生較高能的電漿；漆包線圈因為有機物質可以產生功率較高的電漿。

壹、研究動機

有一次我在網路上看到有人將葡萄剖半，並放進微波爐中加熱，接著葡萄沒切斷的部分就開始發出耀眼的光芒，進一步查詢後，發現光芒就來自於"電漿"，後來我們在 Youtube 上看到了一個介紹電漿的影片影片，看到了材料建議的那一頁（圖 1-2），有火柴、鋁箔紙（或錫箔紙）、鋼絲絨.....，而我們最決定用鋁箔來實驗，因為鋁箔較用好取得且可重複利用，於是我們決定鋁箔來測試電漿的產生條件，並設法控制電漿產生的位置，還發現電漿在未來中有許多應用的方向，例如：發電機、電暖爐、光源.....，發現了電漿的優點後，我們決定進一步的了解並將其推廣出去，使其能廣泛的其應用在生活中。



圖 1-1 產生電漿的材料（Youtube-Nilered，2019）


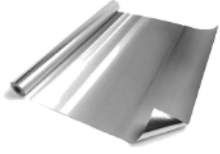






圖 1-2 水晶球產生的電漿（Mark Rober，2017）

貳、研究目的

- (一)、研究**導體材質**對**電漿**產生影響
- (二)、分析**聚丙烯酸鈉**與**葡萄**的關係
- (三)、比較不同**微波強度**的效果
- (四)、觀察**鋁箔紙**產生**電漿**的現象
- (五)、探討**漆包線圈**的變因
- (六)、研發**量化電漿效果**的裝置

參、研究設備及器材

微波爐	鋁箔紙	陶瓷片	燒杯	相機
				
防守割套	A4 白紙	碘液	鑷子	電工膠帶
				
三用電表	漆包線	剪線器	micrometer	聚丙烯酸鈉
				

肆、研究過程或方法

一、重要名詞解釋

(一) 電漿：

電漿 (plasma) 又稱等離子體、電離漿、等離體，**是物質狀態之一**，是物質的高能狀態。其物理性質與固態、液態和氣態不同。電漿和氣體一樣，形狀和體積不固定，會依著容器而改變。**電漿有接近完美的導電率，且會受到磁場的影響**，一般是指各種離子化氣體，然而固體或液體內的自由電子也可以被視為電漿的一種（非中性電漿），此外還包括很多受電磁場支配的流體物質。電漿可以被看成是由一群粒子所組成的系統，因此在數學上可以用統計的方式來研究。（維基百科）

(二) 微波爐：

微波爐可加熱一些**含有電極性分子且分子可自由震盪的物體**（比如**液態水**）。當這些物體被置於微波傳播空間中，在微波高頻振盪的電磁場作用下，**物體中的電極性分子**（尤其是水分子）的方向**會隨振盪電場一起振動**，一個分子的固有電磁場被改變並影響鄰近分子，於是分子的振動便在分子之間傳遞開去，**分子振動就是內能，增加內能就是加熱**，微波能令物質中的內能增加，也即是能**令物質加熱**。（維基百科）至於金屬物體，包括鐵、鋁、不鏽鋼、錫箔紙，甚至有金屬鑲邊的瓷碗，都不可放進微波爐裡，除了因為金屬會隔絕與反射大部份的微波、使食物無法加熱，更嚴重的是金屬導電性佳，當接受微波照射，金屬的邊緣與尖端（如盤緣、湯匙叉子、釘書針、容器因損壞造成的尖角等）或金屬與金屬相接近處（如餐具交疊、鋁箔紙對折、凹凸處、或金屬太靠近爐壁等），**會累積過多電荷而產生很高的電場，使周圍空氣游離裂解而導電，進而產生火花**。（呂怡貞，2011）

(三) 尖端放電：

尖端放電為電暈放電的其中一種，造成此現象的原因主要為**導體尖端周圍的空氣被導體產生的電場電離**。**當導體周圍電場的值夠高來形成一個可作為導體的區域時，將會發生放電現象**，但其電場值並不足以引起電壓崩潰或對附近的物件造成**電弧現象**。在空氣中，我們通常會在擁有高電壓的導體尖端附近看到。在高壓系統中，自發性的尖端放電會消耗功率，而在尖端放電下的高化學活性反應中，會產生有害的物質，例如臭氧。可控制的尖端放電現象常被用在過濾及印刷等等製程中。（維基百科）

(四) 極化現象：

是指**原子或分子失去或得到一個或幾個電子而形成的帶電荷的粒子**，帶正電荷的原子叫做陽離子，帶負電荷的原子叫做陰離子與分子、原子一樣，離子也是構成物質的基本粒子，而我們實驗中的電漿則是陽離子。將物質放在電磁波中，**電磁波隨時間震盪的電場也會把物質極化**。只要電場變化速度不要太快（頻率不要太高），物質的極化強度大致上還是和外加電場成正比。然而，當電磁波頻率變高，電場震盪速度太快，正負電荷來不及位移太多，或是電偶極矩來不及旋轉完，電場就已經改變方向，都會減弱極化強度。（維基百科）

(五) 聚丙烯酸鈉：

通常都帶有陰性電荷。雖然這類高分子之中工業用途最廣泛者當屬以鈉中和的鈉鹽，但鉀鹽、鋰鹽與銨鹽也是可行的鹽類。**溶解於水中時，會有一小塊塊狀物**。（維基百科）

(六) **集膚效應**（又稱趨膚效應或直譯作表皮效應，Skin effect）是指導體中有交流電或者交變電磁場時，導體內部的電流分布不均勻的一種現象。隨著與導體表面的距離逐漸增加，導體內的電流密度呈指數衰減，即導體內的電流會集中在導體的表面。從與電流方向垂直的橫切面來看，導體的中心部分幾乎沒有電流流過，只在導體邊緣的部分會有電流。簡單而言就是電流集中在導體的「皮膚」部分，所以稱為集膚效應。產生這種效應的原因主要是變化的電磁場在導體內部產生渦旋電場，與原來的電流相抵消。（維基百科）

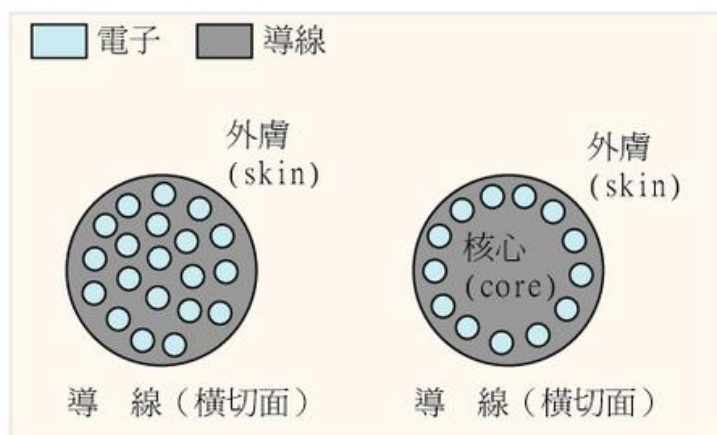


圖 4-1-1 理想中（圖左）電子在導體中以平均分佈的方式傳導流通，集膚效應（圖右）則是電子集中在導體的近外膚（表面）位置上流通。

(七) **焰色反應 (Flame reaction)**：

也稱焰色試驗，是化學上用來測試某種離子是否在化合物中存在的方法，該反應為物理變化。其原理是每種元素離子都有其個別的光譜，當受熱時原子的電子會躍遷至較高的不穩定能級，並以釋放一定頻率的光子的方式回到基態，從而發生焰色反應。樣本通常是粉或小塊的形式。以一條清潔且對化學惰性的金屬線（例如鉑或鎳鉻合金）盛載樣本，再放到本生燈的無光焰（藍色火焰）中。（李盈萱等，2008）

元素	銅 Cu	碳 C	鋁 Al	鐵 Fe	鋅 Zn
焰色	淺藍綠	金黃	白色	紅色	藍綠

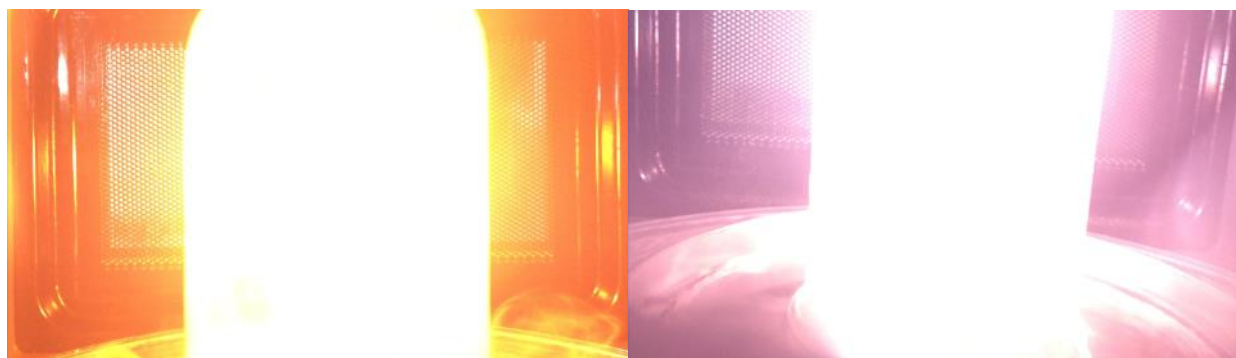


圖 4-1-2 電漿焰色反應 1

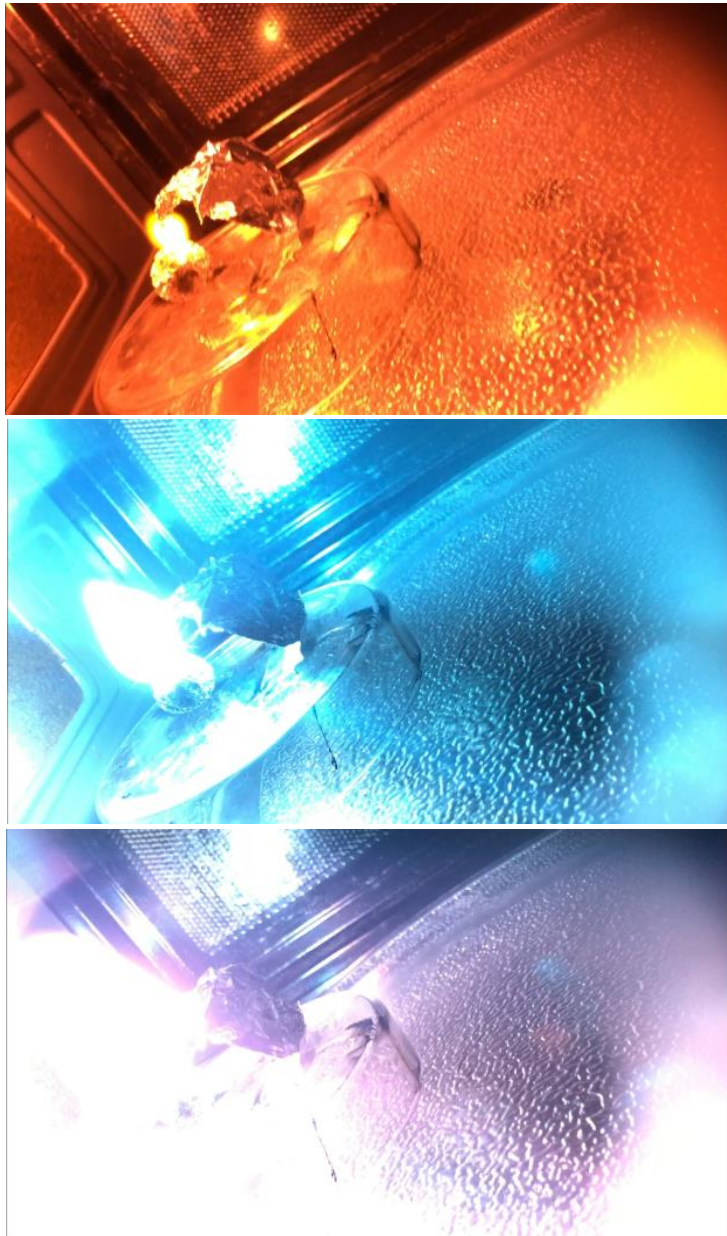


圖 4-1-3 電漿焰色反應 2

二、實驗方法及研究架構圖

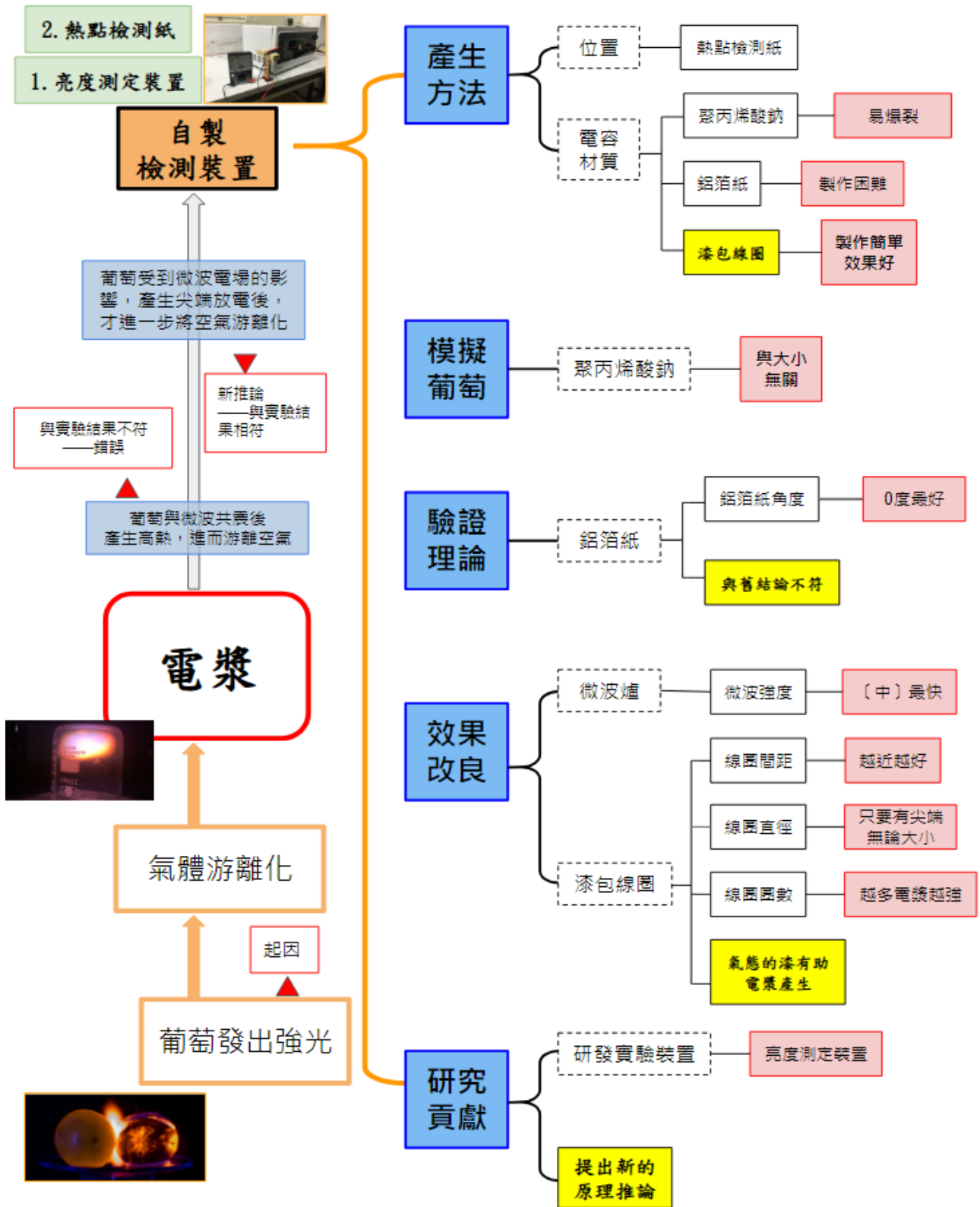


圖 4-2-1 實驗架構圖

三、研究步驟

註 1_觀察微波爐的熱點位置：

如何測出微波爐中的熱點（找到微波爐內能量最強的地方，以便後續實驗）

- 1.把 A4 白紙塗上碘液（均勻塗滿）
- 2.把整張塗了碘液的 A4 紙放進微波爐
- 3.放在微波爐中約 30 秒
- 4.拿出紙張觀察紙上白色區塊，此區塊即為熱點

（一）、聚丙烯酸鈉橫截面對電漿產生機率的影響。

- 1.將聚丙烯酸鈉夾在畫有刻度的木頭上，依照木頭上的刻度用美工刀切割出固定直徑的半圓形聚丙烯酸鈉（此步驟需做兩次）
- 2.將兩塊切好的聚丙烯酸鈉放在陶瓷片上
- 3.除去微波爐中的旋轉盤
- 4.放入微波爐中（放在熱點（見註 1）上，否則無法做出電漿）
- 5.觀察產生電漿與否，並算出產生機率

（二）、微波強度對電漿產生速度的影響。

- 1.把鋁箔紙分成兩塊，鋁箔紙 1 剪成三角形（大小約底 6cm×高 7cm），並彎成弓形；鋁箔紙 2 則揉成球形（直徑約 1.5cm）
- 2.將鋁箔放置於倒蓋的培養皿上，並放入微波爐裡
- 3.除去微波爐中的旋轉盤
- 4.放入微波爐中（放在熱點（見註 1）上，否則無法做出電漿）
- 5.調整微波強度（低、中低、中、中高、高）
- 6.用手機錄下來，並用碼錶計算產生速度



圖 4-3-1 鋁箔紙實驗模型

（三）、鋁箔紙角度對電漿產生速度的影響。

- 1.把鋁箔紙分成兩塊，鋁箔紙 1 剪成三角形（大小約底 6cm×高 7cm），並彎成弓形；鋁箔紙 2 則揉成球形（直徑約 1.5cm）
- 2.在鋁箔放置的培養皿上對準三角形鋁箔的尖端畫一條線
- 3.在旋轉盤上畫出角度的刻度線
- 4.將培養皿上的線對準刻度線
- 5.在不移轉培養皿的情況下除去微波爐中的旋轉盤
- 6.放入微波爐中（放在熱點（見註 1）上，否則無法做出電漿）
- 7.將微波爐功率調到[中]
- 8.用手機錄下來，並用碼錶計算產生速度



圖 4-3-2 實際產生電漿（左） 電漿以電火花形式呈現（右）

（四）、線圈間距對電漿產生機率的影響

- 1.用漆包線捲成圈狀，尾部捲在一起，如圖（此步驟需重複 2 次，做出兩個漆包線圈）
- 2.將此二漆包線圈放在陶瓷片上
- 3.除去微波爐中的旋轉盤
- 4.放入微波爐中（放在熱點（見註 1）上，否則無法做出電漿）
- 5.將微波爐功率調到[中]
- 6.記錄電漿產生的有無（紀錄 5 次），並計算機率

（五）、線圈圈數對電漿亮度的影響

- 1.用漆包線捲成圈狀，要做出 1 圈、2 圈、3 圈、4 圈、5 圈，尾部捲在一起，如圖（此步驟需重複 2 次，做出兩個漆包線圈） **（注意!漆要留著，不要刮掉）**
- 2.將此二漆包線圈放在陶瓷片上
- 3.除去微波爐中的旋轉盤
- 4.放入微波爐中（放在熱點（見註 1）上，否則無法做出電漿）
- 5.將微波爐功率調到[中]
- 6.記錄電漿亮度（測量方法請見註 2）（紀錄 3 次），算成平均值

（六）、線圈圈數對電漿電壓(AC)的影響

- 1.用漆包線捲成圈狀，要做出 1 圈、2 圈、3 圈、4 圈、5 圈，尾部捲在一起，如圖（此步驟需重複 2 次，做出兩個漆包線圈） **（注意!尾部漆要留著，其他刮掉）**
- 2.將此二漆包線圈放在陶瓷片上

3. 除去微波爐中的旋轉盤
4. 放入微波爐中（放在熱點（見註 1）上，否則無法做出電漿）
5. 配置成如圖樣貌(電刷配置法)
6. 將微波爐功率調到[中]
7. 記錄電漿電壓（測量方法請見電刷配置法附圖 4-3-3）（紀錄 9 次），算成平均值

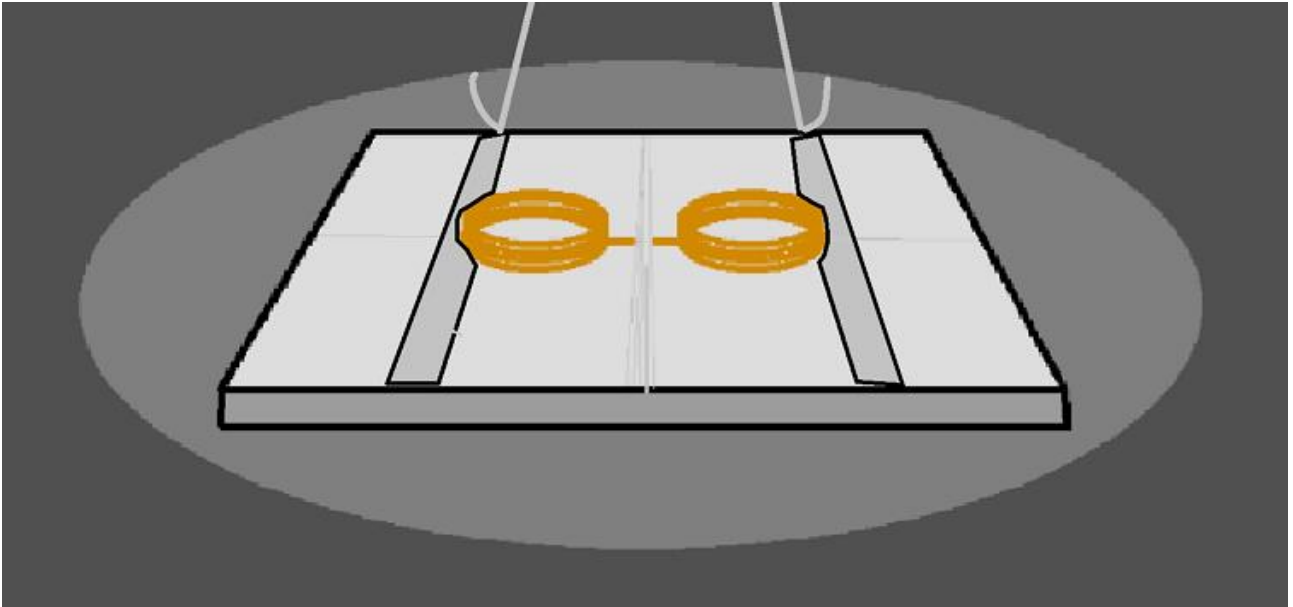


圖 4-3-3 電刷配置法

（六）、線圈金屬材質對電漿產生後溫度的影響

1. 用不同材質做出線圈(本次使用的線圈是由一條線構成，並不是和之前一樣是兩個獨立線圈)，包括：鉛線、漆包線、鋁線、錫線。作法請見附圖單一線圈作法。**（注意!漆包線材質全部的漆都要留著，其他刮掉）**
2. 將此線圈放在陶瓷片上
3. 除去微波爐中的旋轉盤
4. 放入微波爐中（放在熱點（見註 1）上，否則無法做出電漿）
5. 配置成如圖樣貌(單一線圈配置，見附圖)
6. 將微波爐功率調到[中]
7. 記錄電漿電壓（紀錄 3 次），算成平均值

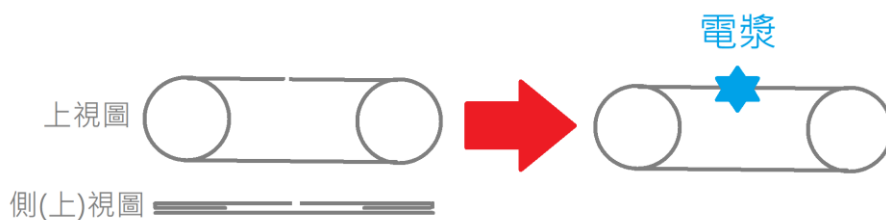


圖 4-3-4 單一線圈配置圖

註 2_如何測量電漿亮度

1.準備太陽能光電板一塊、三用電表一台、電工膠一卷、木塊多塊

2.如附圖配置

3.太陽能光電板要與微波爐的門隔一段距離，因為微波爐的門會有殘餘微波，所以太陽能光電板不能碰到門

註 3_如何摺鋁箔紙

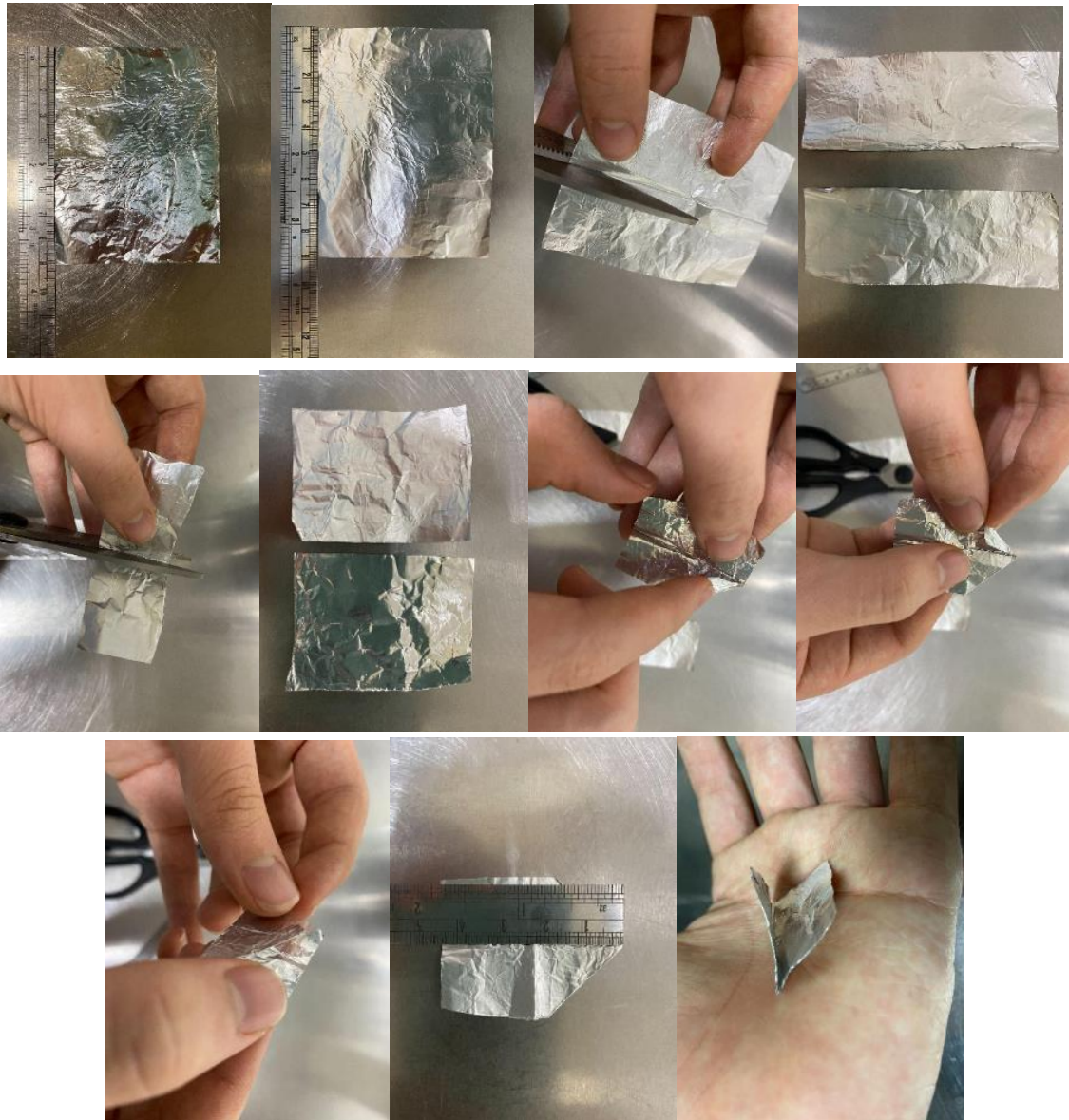


圖 4-3-1 如何摺鋁箔紙

伍、研究結果與討論

一、實驗結果

實驗一、聚丙烯酸鈉（水晶寶寶）橫截面對電漿產生機率的影響。

（一）實驗設計

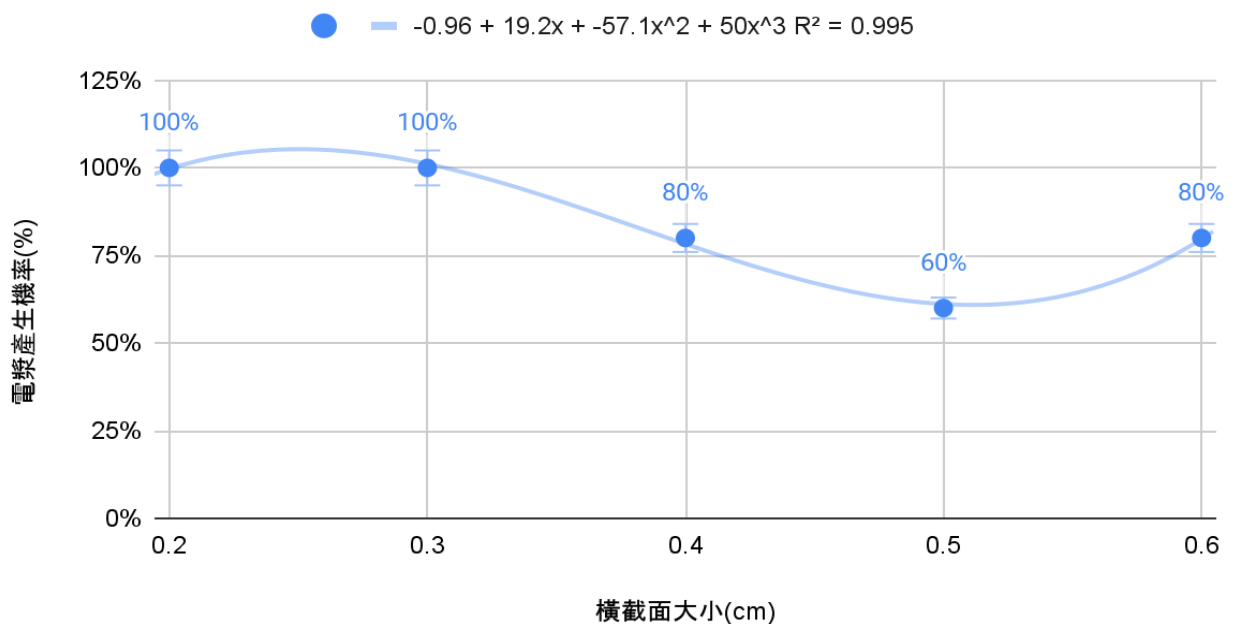
1. 假設：裝置在微波爐內的橫截面的大小會對電漿的產生成功率造成影響。
2. 操縱變因：聚丙烯酸鈉的橫截面大小。
3. 控制變因：聚丙烯酸鈉的品牌、放置的位置、微波爐的功率
4. 應變變因：產生電漿的機率

（二）實驗結果

表 5-1-1 聚丙烯酸鈉（水晶寶寶）橫截面對電漿產生機率的影響

聚丙烯酸鈉 橫截面大小	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	機率
0.6	○	×	○	○	○	80%
0.5	×	○	×	○	○	60%
0.4	○	○	○	×	○	80%
0.3	○	○	○	○	○	100%
0.2	○	○	○	○	○	100%

圖5-1-1 聚丙烯酸鈉橫截面對電漿產生機率的影響



(三) 結論探討

- 1.實驗結果：依實驗圖表 5-1-1 顯示聚丙烯酸鈉的橫截面大小和電漿產生的機率沒有顯著的關聯性。但失敗無法產生電漿現象的水晶寶寶不是炸裂就是變白。推測：是因為加熱使水蒸氣增加而使水晶寶寶變白甚至膨脹而炸裂，破壞及降低產生電漿的產生條件。另外，.截面積與微波波長（12cm）無倍率關係。推測：電漿的產生與微波駐波無關，因為駐波。
- 2.原理：實驗中發現水晶寶寶橫截面積越小；電漿產生的亮度也越小。推測：電漿產生的亮度與面積大小有關。
- 3.新發現：當水晶寶寶橫截面直徑越大時，水晶寶寶越容易產生爆裂現象，而使水晶寶寶無法產生電漿現象。推測：水晶寶寶越大，其中含水量更多，水因加熱而產生水蒸氣，水蒸氣體積越大，越容易使水晶寶寶膨脹而炸裂。



圖 5-1-2 聚丙烯酸鈉（水晶寶寶）的炸裂狀況

實驗二、微波強度對電漿產生速度的影響

(一) 實驗設計

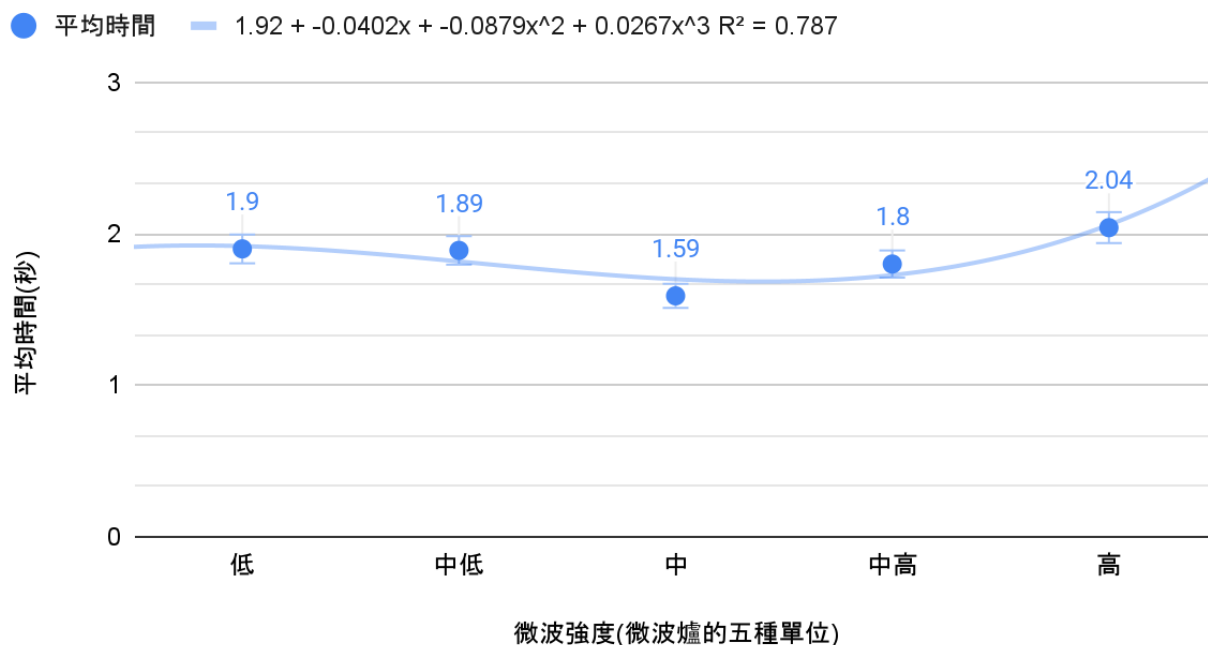
1. 假設：微波的強度會對電漿產生的速度造成影響
2. 操縱變因：微波爐功率的強度
3. 控制變因：鋁箔的面積、裝置的方向、裝置的位置
4. 應變變因：產生電漿的速度

(二) 實驗結果

表 5-2-1 微波強度對電漿產生速度的影響

微波強度	第一次	第二次	第三次	平均
高 (17%)	1.83 秒	2.23 秒	2.05 秒	2.04 秒
中高 (33%)	1.83 秒	1.57 秒	2.01 秒	1.8 秒
中 (55%)	1.73 秒	1.82 秒	1.23 秒	1.59 秒
中低 (77%)	1.92 秒	1.92 秒	1.83 秒	1.89 秒
低 (100%)	1.91 秒	1.85 秒	1.94 秒	1.9 秒

圖5-2-1 微波強度對電漿產生時間的影響



(三) 結論探討

1.實驗結果：依照圖 5-2-1，趨勢線大致上呈現 U 字形，推斷微波強度不能太強也不能太弱，必須為最大功率的 55%，也就是 375 瓦。

2.原理推測：我們認為當微波爐的功率增加時，產生尖端放電的效果也越強，但產生的熱也會變多，而當一瞬間產生高熱時，可能會把周圍的空氣擠走，阻斷了電漿形成的條件，因而平均時間較長。

3.新發現：微波電漿的產生有自己最適合的電壓，太大或太小都會影響產生的速度，而不是像我們一般以為的一樣越大越好。

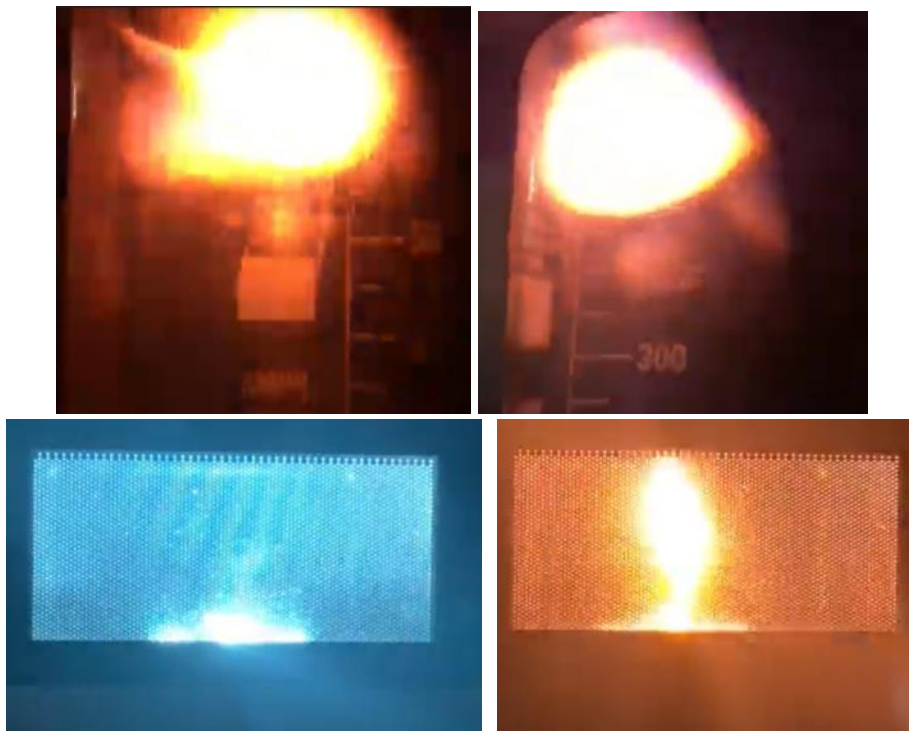


圖 5-2-2 氣體燃燒後上升在微波電場中產生電漿態出現有機碳的焰色反應

實驗三、鋁箔紙角度對電漿產生速度的影響

(一) 實驗設計

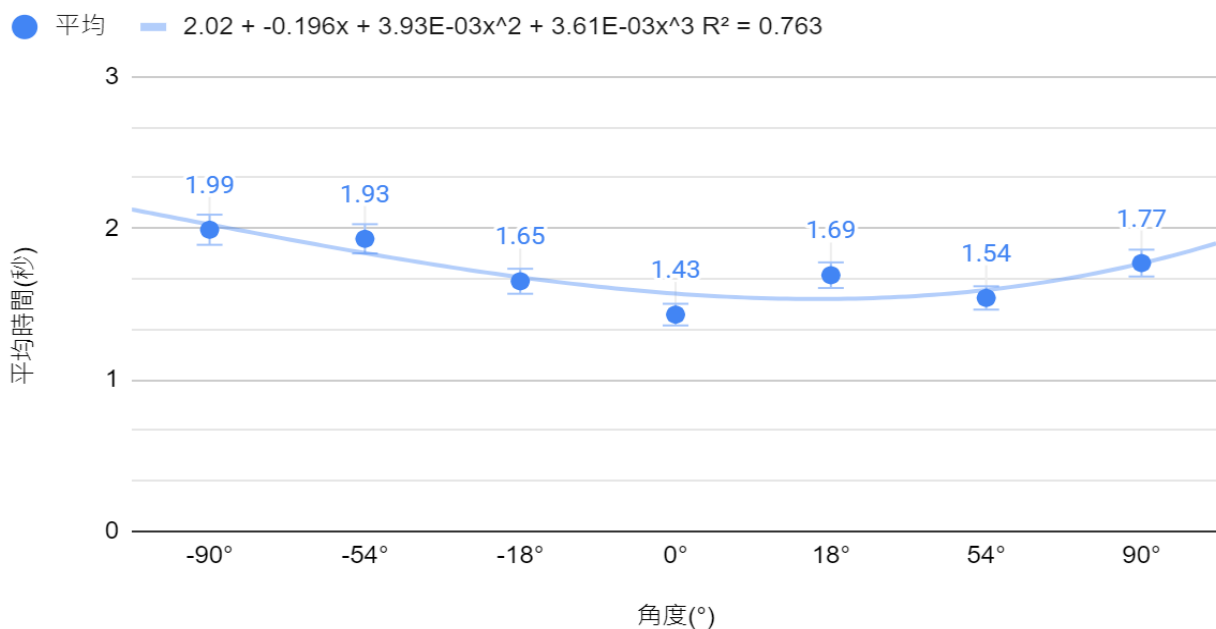
1. 假設：裝置在微波爐內的角度會對電漿的產生速度造成影響。
2. 操縱變因：電漿產生裝置的旋轉角度。
3. 控制變因：鋁箔的面積、裝置的位置、微波爐的功率
4. 應變變因：產生電漿的速度

(二) 實驗結果

表 5-3-1 鋁箔紙角度對電漿產生速度的影響

角度	第一次	第二次	第三次	平均
-90°	1.79 秒	2.17 秒	2.01 秒	1.99 秒
-54°	2.04 秒	1.88 秒	1.88 秒	1.93 秒
-18°	1.92 秒	1.35 秒	1.67 秒	1.65 秒
0°	0.79 秒	1.48 秒	2.01 秒	1.43 秒
18°	1.89 秒	1.76 秒	1.41 秒	1.69 秒
54°	1.45 秒	1.51 秒	1.66 秒	1.54 秒
90°	1.82 秒	1.67 秒	1.83 秒	1.77 秒

圖5-3-1 鋁箔紙角度對電漿產生時間的影響



(三) 結論探討

1.我們現當鋁箔紙角度越接近零，電漿產生的速度越快。

2.原理推論：在之前的文獻中有提到金屬是可以反射微波的，而當鋁箔紙在不同角度下時，微波所反射的角度也是不一樣的，進而我們發現到，當鋁箔紙角度為零時，球形鋁箔能吸收更多三角形鋁箔反射的電漿，以至於產生電漿的速度較快。

3.新發現：三角形鋁箔紙能反射微波，而球形鋁箔紙能吸收反射而來的微波，並減少產生電漿的時間。另外，本實驗證明電漿的產生不是微波共振駐波所造成的，而是因為微波（電磁波）對導體產生電場的「集膚效應」激發尖端放電進而引發周圍氣體「游離化」進入「電漿態」。

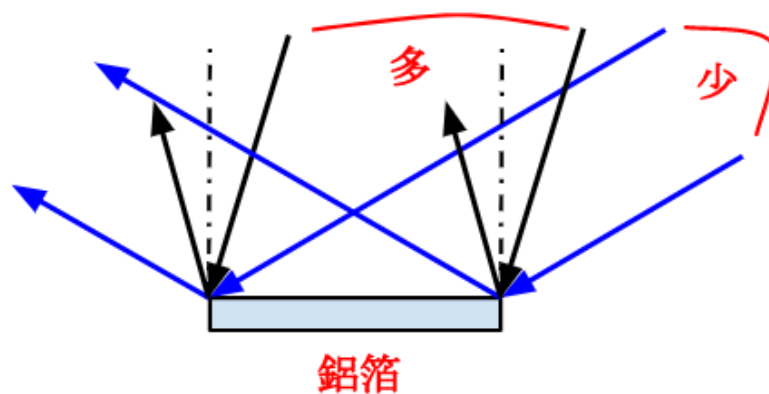


圖 5-3-2 鋁箔紙的反射示意圖

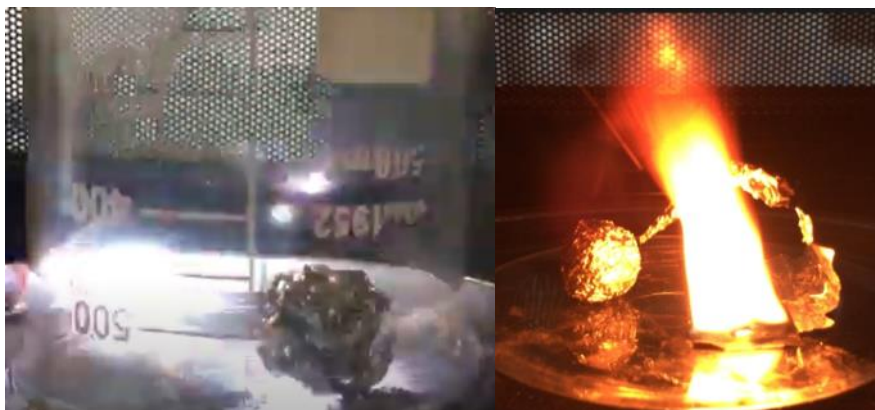


圖 5-3-3 鋁箔紙產生電漿的現象

實驗四、線圈間距對電漿產生機率的影響

(一)、實驗設計

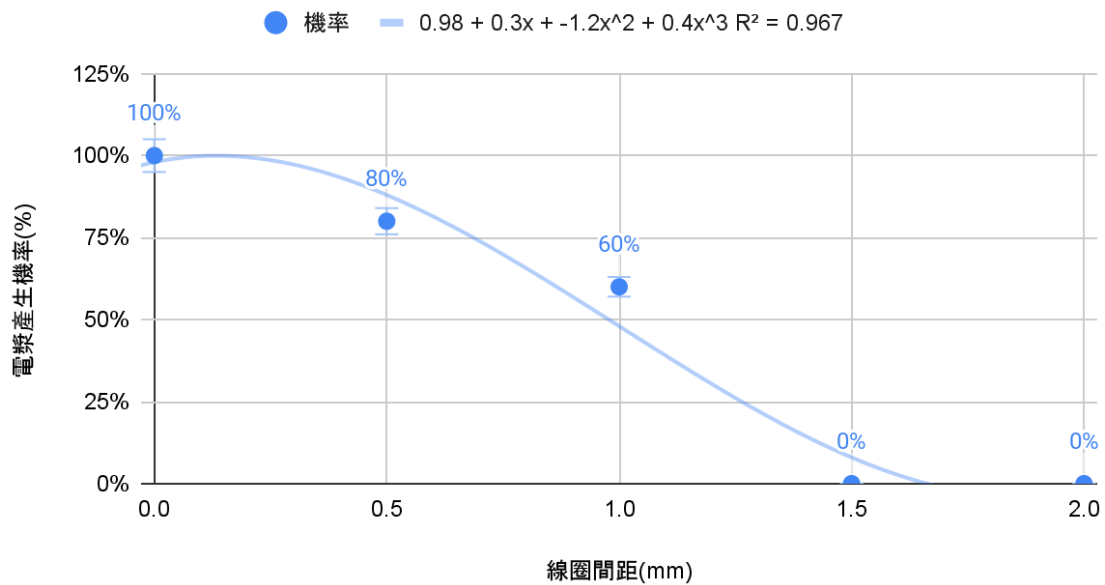
1. 假設：線圈間距會對電漿產生機率造成影響
2. 操縱變因：兩個漆包線圈的間距
3. 控制變因：漆包線種類、線圈直徑、微波爐強度
4. 應變變因：電漿產生機率

(二) 實驗結果

表 5-4-1 線圈間距對電漿產生機率的影響

間距 (mm)	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	機率
2	×	×	×	×	×	0%
1.5	×	×	×	×	×	0%
1.0	×	○	×	○	○	60%
0.5	○	○	×	○	○	80%
0	○	○	○	○	○	100%

圖5-4-1 線圈間距對電漿產生機率的影響



(三) 結論探討

- 1.實驗結果：本實驗發現，**間距至少要 1.0mm 以下才會產生電漿**，可見線圈距離是電漿產生的一大變因。
- 2.原理推論：當距離過遠時，**兩個漆包線圈間的影響力減弱**，進而影響了尖端放電的成功率，才導致當距離過遠時就無法產生電漿。
- 3.新發現：我們發現漆包線圈的「**漆不要刮掉**」較容易產生電漿，推測是因為如果有留漆的話，當產生高熱時，漆會昇華成氣態，而因為氣態漆為有機物，所以更容易形成電漿。

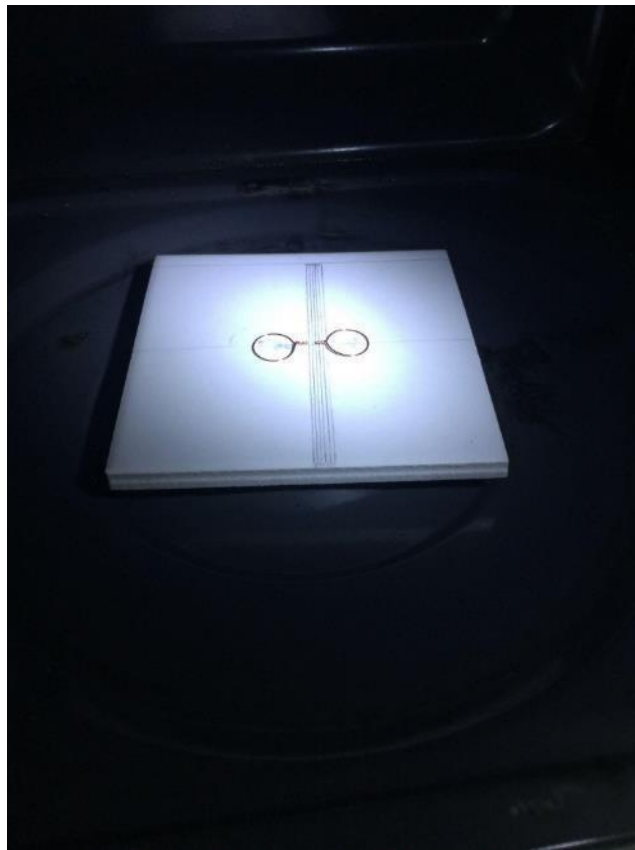


圖 5-4-2 線圈間距實驗模型

實驗五、線圈圈數對電漿亮度的影響

(一) 實驗設計

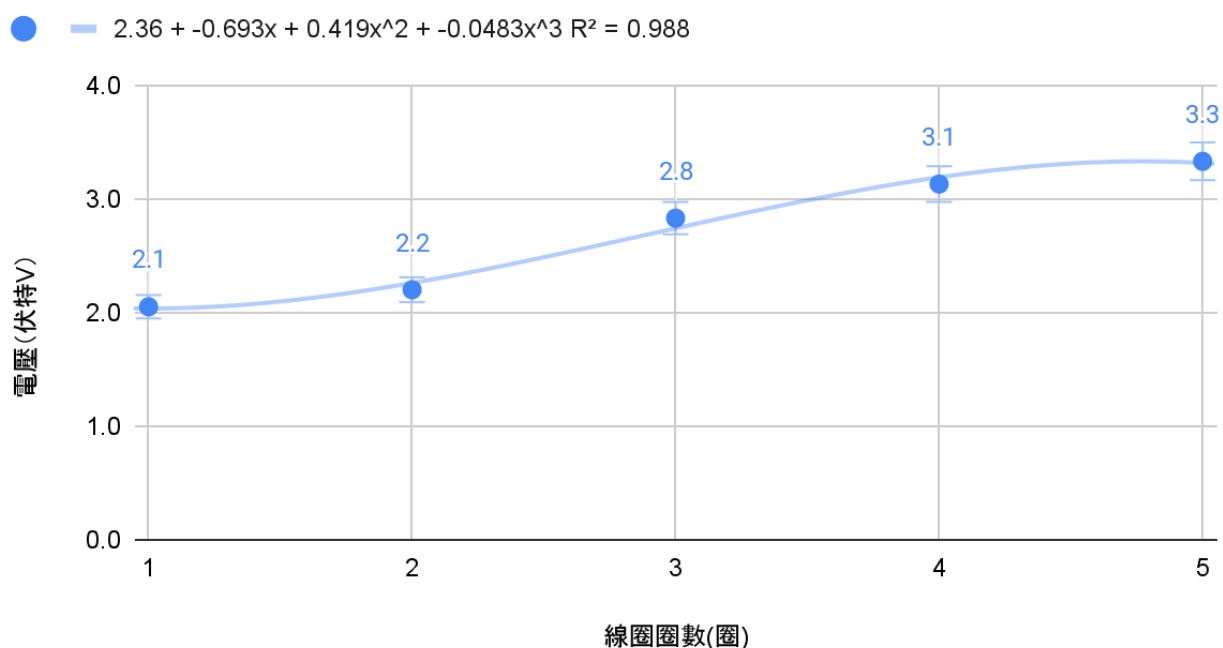
1. 假設：線圈圈數會對電漿亮度造成影響
2. 操縱變因：漆包線圈的圈數
3. 控制變因：漆包線種類、線圈之間的距離、微波爐強度
4. 應變變因：電漿產生亮度

(二) 實驗結果

表 5-5-1 線圈圈數對電漿亮度的影響

線圈圈數	第一次	第二次	第三次	太陽能光電板產生之平均電壓 (V)
1	2V	2.25V	1.9V	2.1V
2	1.7V	2.8V	2.1V	2.2V
3	2.7V	2.7V	3.1V	2.8V
4	2.55V	3.65V	3.2V	3.1V
5	3.3V	4V	2.7V	3.3V

圖5-5-1 線圈圈數對電漿亮度大小的影響



(三) 結論探討

- 1.實驗結果：本實驗發現線圈圈數越多電漿亮度越亮，同時，太陽能光電板的電量也增加。
- 2.原理討論：當漆包線圈的圈數越多時，尖端放電的電壓會越大，游離化的氣體也會越多，使整體的亮度增加，進而讓太陽能光電板產生更高壓的電。
- 3.新發現：我們發現可以透過量測太陽能光電板產生的電的電壓，來測出電漿的強度。



圖 5-6-2 太陽能光電板電壓實測

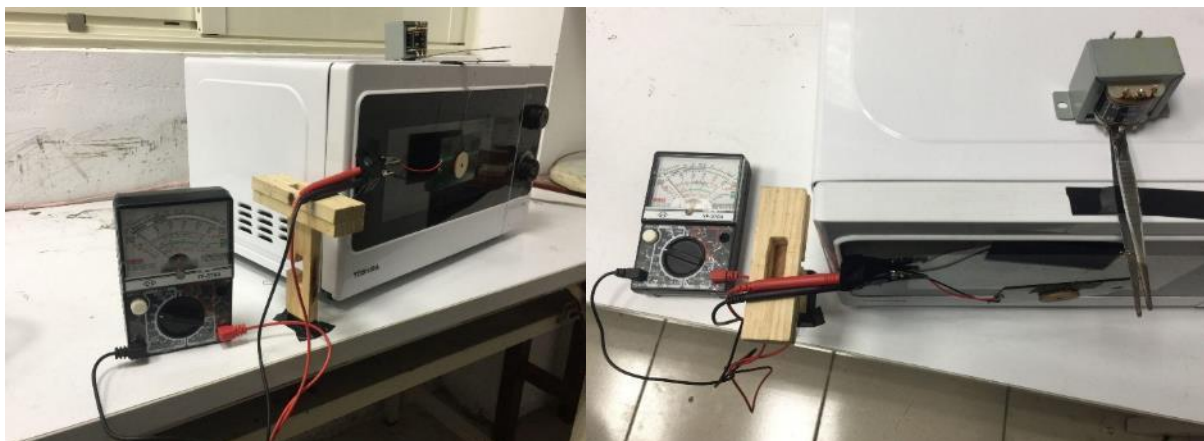


圖 5-6-3 測量太陽能光電板電壓的實驗配置

實驗六、線圈圈數對電漿電壓(AC)大小的影響

(一) 實驗設計

1. 假設：線圈圈數會對電壓大小造成影響
2. 操縱變因：漆包線圈的圈數
3. 控制變因：漆包線種類、線圈之間的距離、微波爐強度
4. 應變變因：電漿的電壓

(二) 實驗結果

表 5-6-1 線圈圈數對電漿電壓(AC)的影響

線圈圈數	平均電壓 1	平均電壓 2	平均電壓 3	總平均電壓
1	36.0V	24.7V	25.7V	28.8V
2	11.0V	12.0V	24.3V	15.8V
3	14.3V	17.3V	10.0V	13.9V
4	13.3V	16.7V	15.7V	15.2V
5	16.0V	12.0V	8.3V	12.1V

圖5-6-1 線圈圈數對電壓大小的影響

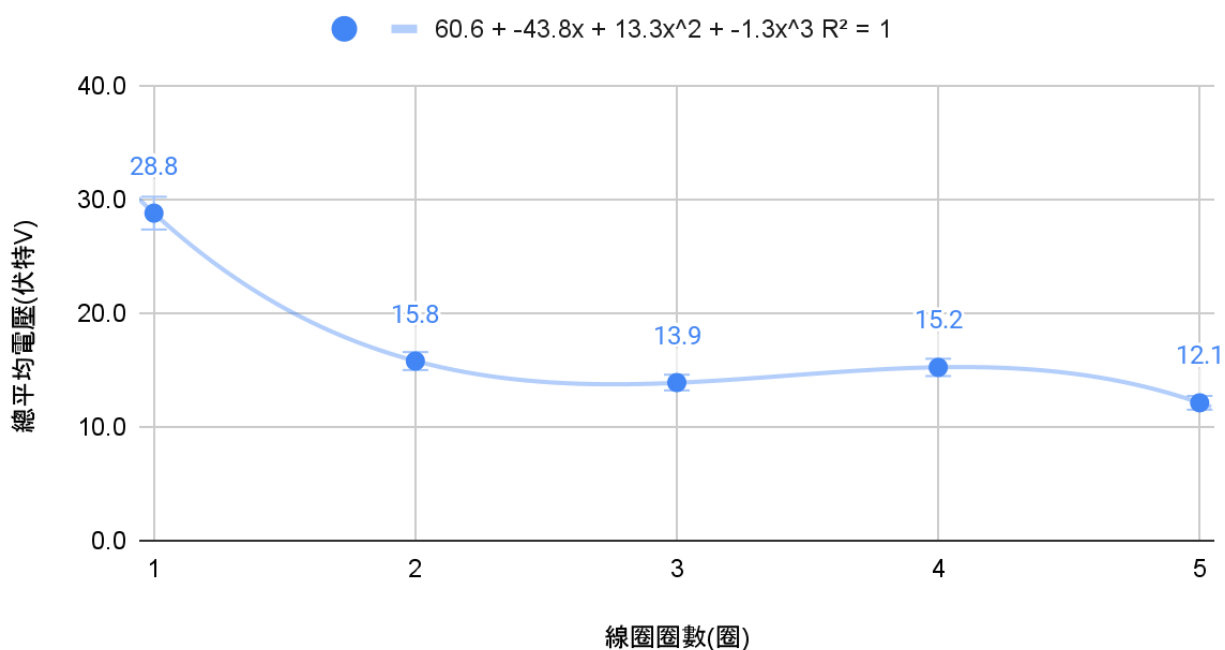
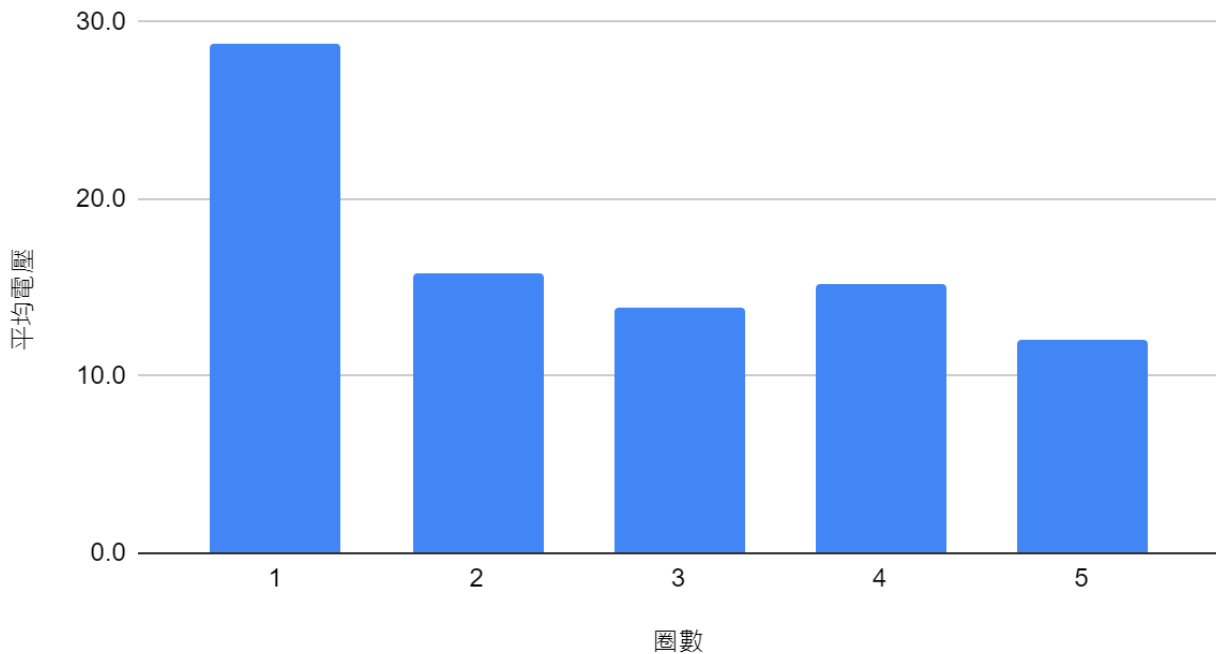


圖5-6-2 線圈圈數對電壓大小的影響



(三) 結論探討

- 1.實驗結果：本實驗發現線圈圈是只有一圈時，電壓最大，其他則維持水平狀，差異不大。
- 2.原理討論：我們認為之所以會產生這種現象，我們推測：根據先前「線圈圈樹對電漿亮度的影響實驗」，因為線圈圈數越多，亮度越亮，釋放的能量也越多，因為很多能量拿去產生光與熱，所以殘留下來的電壓相對就比較少。壓相對也因為線圈變多圈時，會產生「短路現象」，使線圈高熱，釋放感應電流，使可以測得的電較低；反之，一圈的線圈因為沒有短路現象，能量消耗相對較低，當然能夠測得的電壓就升高了!
- 3.新發現：我們發現，在產燒電漿之前，電表上就已經顯示線圈的「感應電流」(大約有 5 伏特 V 左右)。

實驗七、線圈金屬材質對電漿產生後溫度的影響

(一) 實驗設計

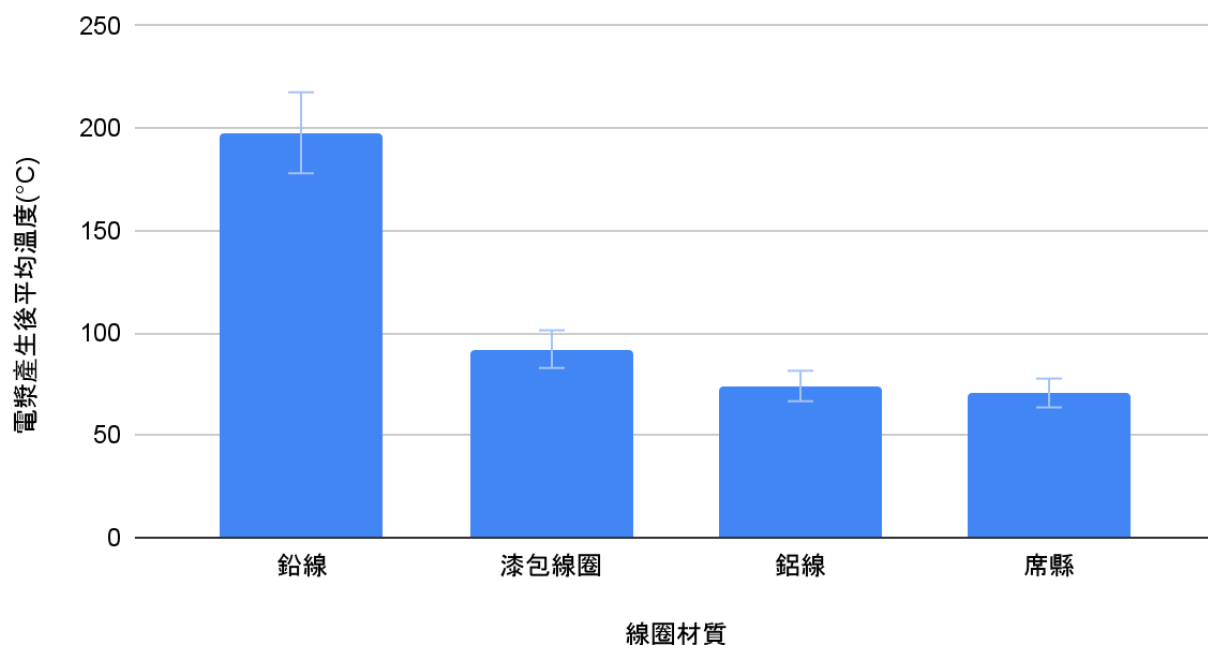
1. 假設：線圈材質會對電漿的溫度造成影響
2. 操縱變因：線圈金屬的材質
3. 控制變因：線材的直徑、線圈之間的距離、微波爐強度
4. 應變變因：電漿產生後的溫度

(二) 實驗結果

表 5-7-1 線圈金屬材質對電漿產生後溫度的影響

線圈材質	第一次 (°C)	第二次 (°C)	第三次 (°C)	平均溫度 (°C)
鐵(鉛線)	212.7°C	189.5°C	191.2°C	197.8°C
銅(包漆)	81.2°C	84.6°C	110.4°C	92.1°C
鋁	76.6°C	65.4°C	80.2°C	74.1°C
錫	55.3°C	93.5°C	63.2°C	70.7°C

圖5-7-1 線圈金屬材質對電漿產生後溫度的影響



(三) 結論探討

1.實驗結果：**鉛線效果最佳，漆包線圈次之**，其餘的則幾乎相同。

2.原理討論：對於產生這種現象的原因我們推測：**鐵(鉛線)**之所以溫度較高是因為**它是磁性物質，能和電磁波產生交互作用**，所以電漿功率大。**漆包線圈**因為**有漆(有機物質)**，所以能夠有效產生規模較大的電漿。其餘兩種金屬物質，都沒有特別之處，因此產生的電漿溫度較低。

3.新發現：我們發現，**錫線因為熔點低**，因此在產生第一次電漿後尖端就會溶掉斷開，**無法產生持久的電漿**。



圖 5-7-1 線圈金屬材質

陸、結論

一、實驗討論(一)

(一)聚丙烯酸鈉橫截面對電漿產生次數的影響

- 1.聚丙烯酸鈉的橫截面大小和電漿產生的機率沒有顯著的關聯性。
- 2.橫截面積越小；電漿產生的亮度也越小。
- 3.水晶寶寶越大，越容易使水晶寶寶膨脹而炸裂。

(二)微波強度對電漿產生時間的影響

- 1.推斷微波強度不能太強也不能太弱，必須適中。

(三)鋁箔紙角度對電漿產生次數的影響

- 1.微波發散方向對鋁箔平面的入射角夾角越大，則單位面積微波的入射量越少，金屬被吸收量越少，產生電漿所需時間越長。
- 2.要提升側向微波的吸收量，則鋁箔長度=3.14*曲率半徑（圍成半圓）時，可達最大。

(四)線圈間距對電漿產生機率的影響

- 1.當鋁箔紙角度越接近零，電漿產生的速度越快。

(五)線圈圈數對電漿亮度的影響

- 1.線圈圈數越多電漿亮度越亮，同時，太陽能光電板的電量也增加。

(六)線圈圈數對電漿電壓的影響

- 1.線圈圈數超過 1 圈時，因為短路現象，因此電壓相對較低；而只有 1 圈線圈時，沒有短路現象，電感迴路順暢，電壓產生正常。總而言之，線圈在 1 圈以內，電壓較高；線圈圈數在 1 圈以上，電壓較低。
- 2.線圈在產生電漿之前。在電表上已經顯示了感應電流。

(七)線圈金屬材質對電漿產生後溫度的影響

- 1.鉛線效果最佳，漆包線圈次之，其餘的則幾乎相同。
- 2.鐵(鉛線)因為是磁性物質，因此能產生剛功率的大規模電漿。
- 3.錫線為熔點低，只能產生一次電漿，因此不適合用來製作恆定的電漿產生裝置。



圖 6-1-1 設計圖及實際照片



圖 6-1-2 鋁箔球在微波電場中（上圖）產生的電漿球放電效應（中圖）
最後形成鋁金屬形成白光電漿態（下圖）

二、結論(二)

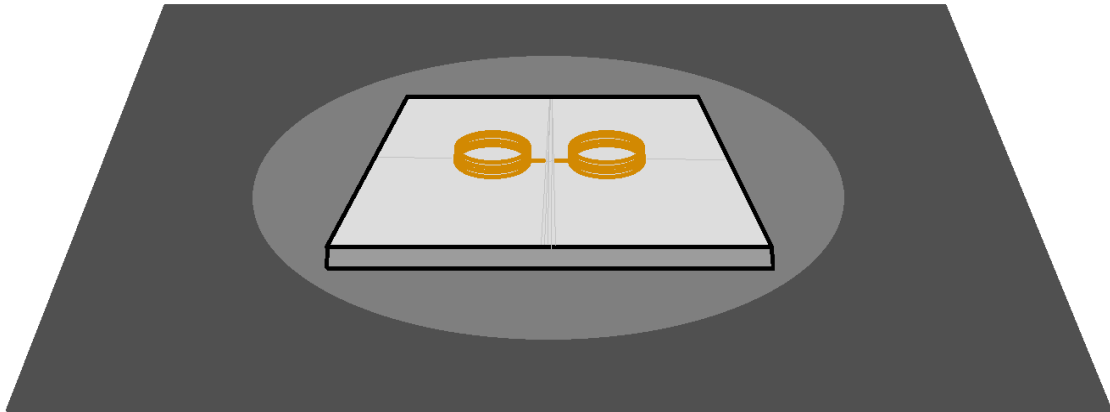


圖 6-2-1 最佳模型的理想圖（內部）



圖 6-2-2 最佳模型的理想圖（外部）

綜上所述，本研究在理論模擬：靜電場由兩個圓圈組成的電感器(聚丙烯酸鈉、鋁箔紙、漆包線圈)提供模擬的結果，顯示模型配置類比於葡萄球周圍的電場分布。葡萄球間隙的電場由表面極化電荷產生，當間隙變小，累積的極化電荷因相互強化而愈多，產生的電場也愈大，當電場超過空氣崩潰電壓，葡萄球之間會發生空氣放電而冒出火花。因此，兩個靠近葡萄球間隙出現火花現象應來自於電場，此為最適理論。

柒、參考資料及其他

國家實驗研究院（2023）奇妙的電漿與電漿的應用，科普講堂。20230306 節錄自：
<https://www.narlabs.org.tw/xcscience/cont?xsmsid=0I148638629329404252&qcat=0I164512522332344267&sid=0J123382852944198982>

王尊信（2009）微波，科學 Online。20230306 節錄自：
<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=2467>

Audison Hong Kong（2021）集膚效應-Skin Effect 是什麼？Multi-Waves Audio Company。20230306 節錄自：
<https://www.facebook.com/audisonhongkong/posts/2255816261218848/>

王尊信（2009）尖端放電（Corona discharge），科學 Online。20230306 節錄自：
<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=2779>

周啟（2017）第 6 章物質內之電場，電磁學
[https://cu.nsysu.edu.tw/base/10001/course/10040512/content/public/106/ELECTROMAGNETISM\(I\)/%E7%AC%AC6%E7%AB%A0%E7%89%A9%E8%B3%AA%E5%85%A7%E4%B9%8B%E9%9B%BB%E5%A0%B4.pdf](https://cu.nsysu.edu.tw/base/10001/course/10040512/content/public/106/ELECTROMAGNETISM(I)/%E7%AC%AC6%E7%AB%A0%E7%89%A9%E8%B3%AA%E5%85%A7%E4%B9%8B%E9%9B%BB%E5%A0%B4.pdf)

youtube 「The microwave plasma mystery」。20230306 節錄自：
<https://www.youtube.com/watch?v=l0u8Vtf2GoQ&t=1s>

youtube（2023）「Making scary plasma in a microwave」。20230306 節錄自：
<https://www.youtube.com/watch?v=x5BFIVDUQPE>

【評語】 030103

本研究嘗試使用許多方法、材質去產生電漿，並發展出量測方法，相當具有科學研究精神。可以在研究道具的製作細節，與分析的參數上再做一些精進。

作品海報

壹、研究動機

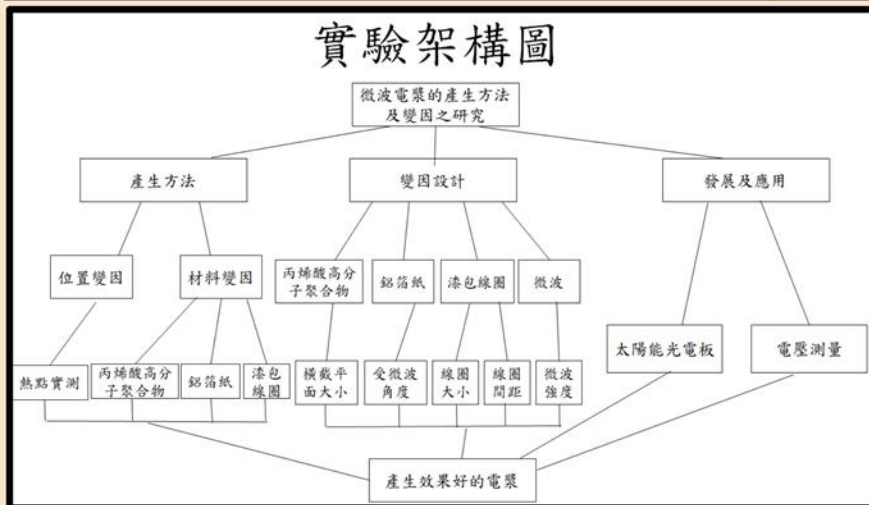
有一次我們在網路上看到有人將**葡萄**放進**微波爐**中，接著葡萄就開始發出耀眼的光芒，進一步查詢，發現光芒是來自於**"電漿"**，後來我們在Youtube上看到有人用**火柴**、**鋁箔紙**、**鋼絲絨**等做出美麗的**電漿**，啟發了我們運用各種變因來控制**電漿**。我們希望能使電漿被廣泛應用在生活之中，例如：發電機、電暖爐、光源、濺鍍、蝕刻、金屬切割.....。



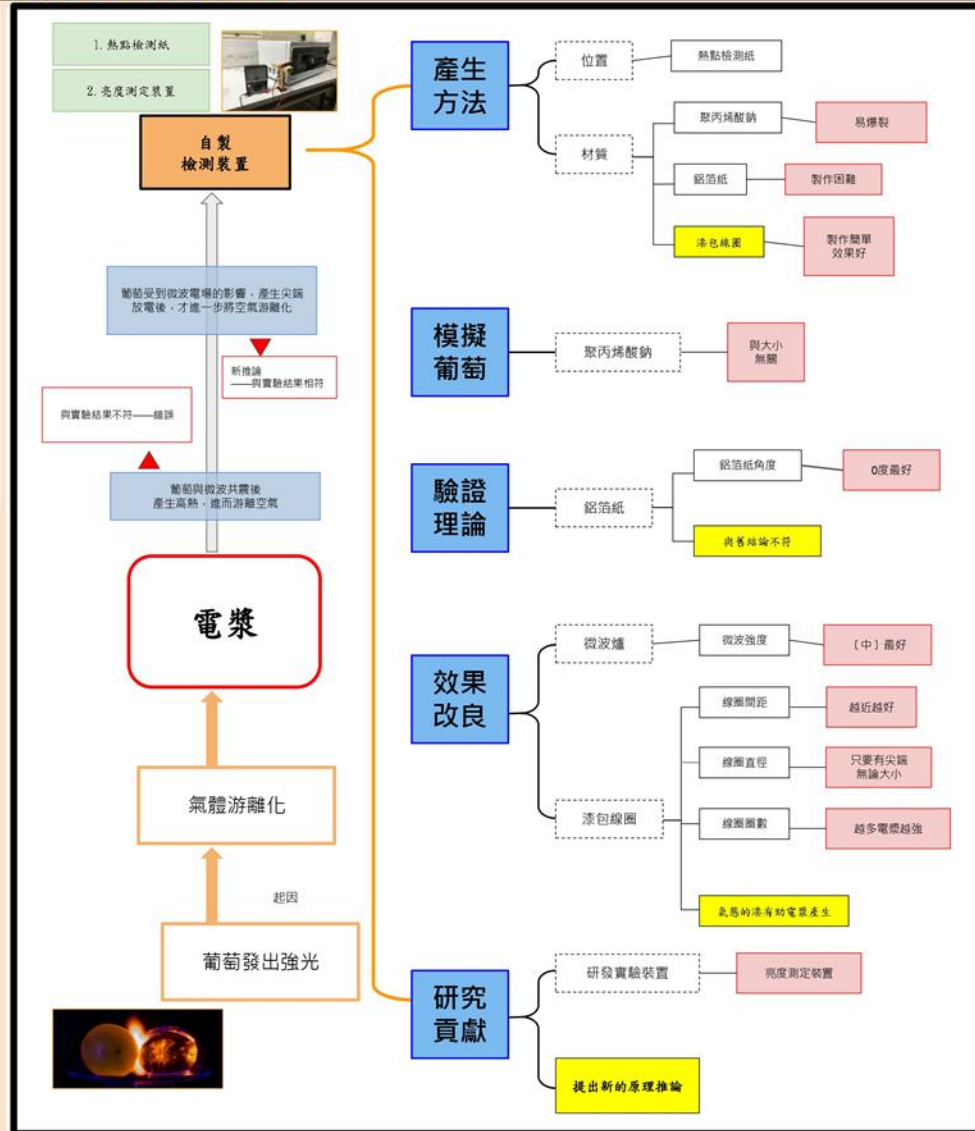
貳、研究目的

- (一)、研究**導體材質**對**電漿**產生的影響
- (二)、分析**聚丙烯酸鈉**與**葡萄**的關係
- (三)、比較不同**微波強度**的效果
- (四)、觀察**鋁箔紙**產生**電漿**的現象
- (五)、探討**漆包線圈**的變因
- (六)、研發**量化電漿效果**的裝置

參、研究方法



鋁箔紙所產生之高能量電漿



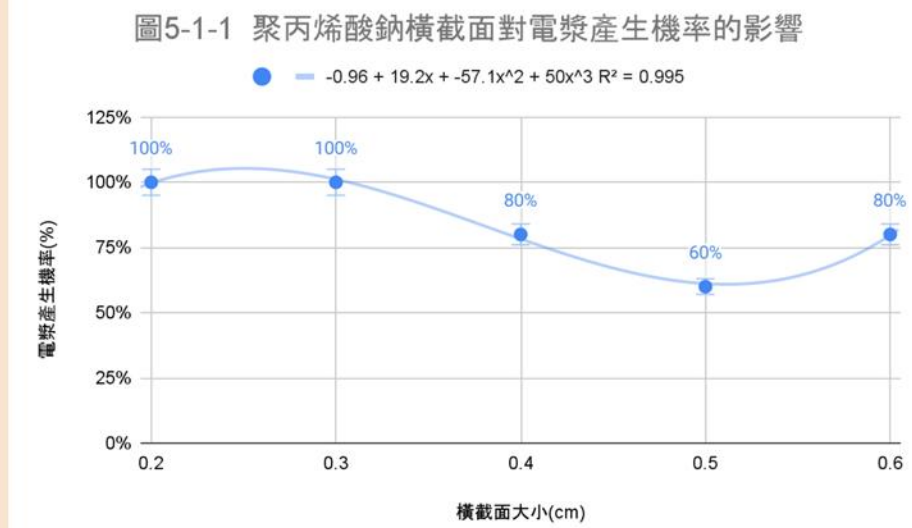
肆、研究結果與討論

一、不同比例聚丙烯酸鈉橫截面對電漿產生機率的影響

- 結果**：聚丙烯酸鈉的橫截面大小和電漿產生的機率沒有顯著的關聯性。
- 原理**：電漿的產生不是**微波共振駐波**所造成的，而是因為微波（電磁波）對導體產生電場的**集膚效應**激發**尖端放電**，進而引發周圍氣體產生離子態進入電漿態。
- 發現與應用**：水晶寶寶橫截面直徑越大時，水晶寶寶越容易產生**爆裂現象**，而使水晶寶寶無法產生**電漿**現象。

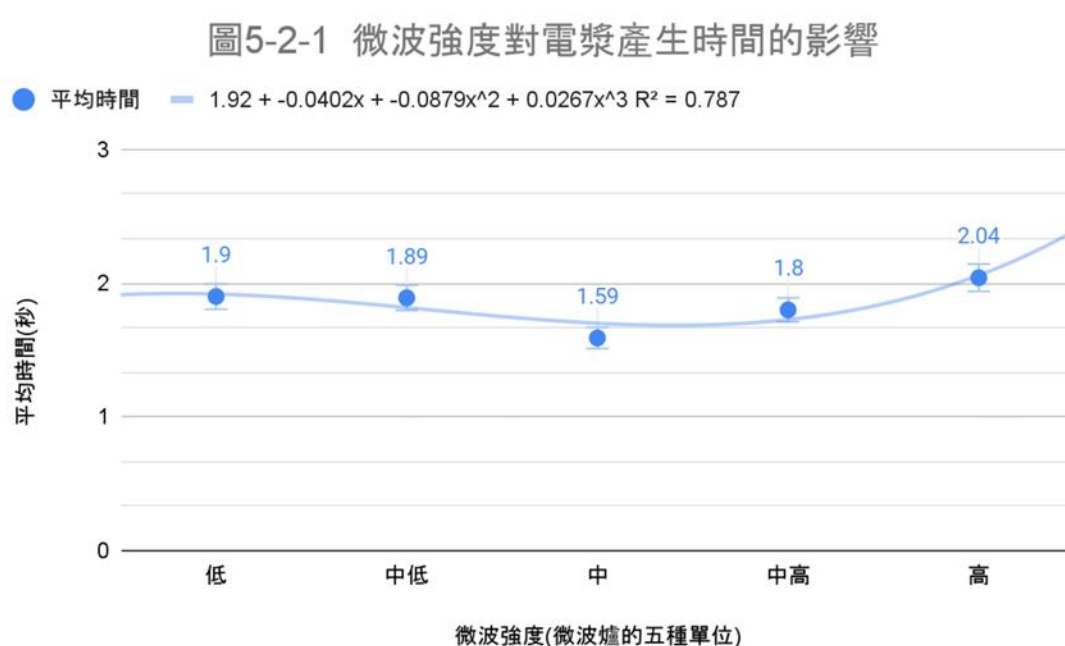


聚丙烯酸鈉產生電漿



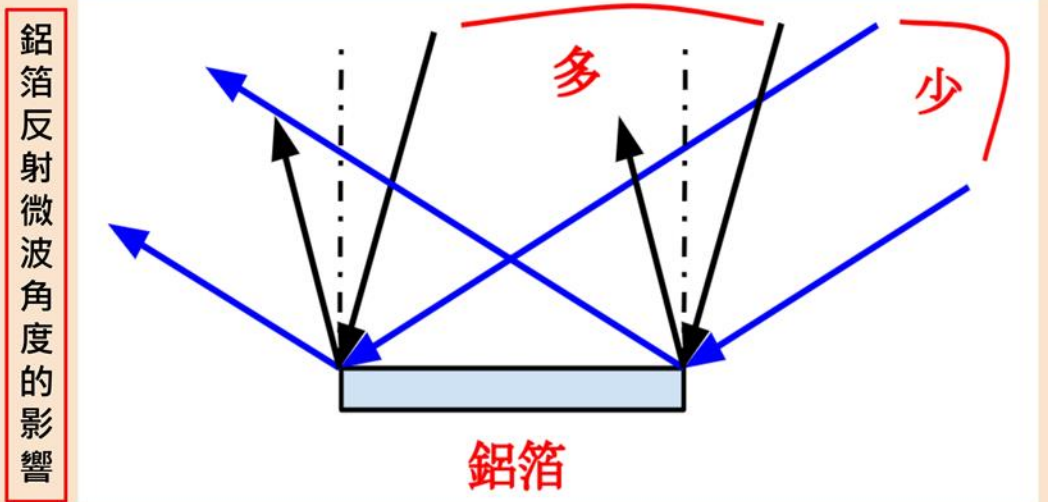
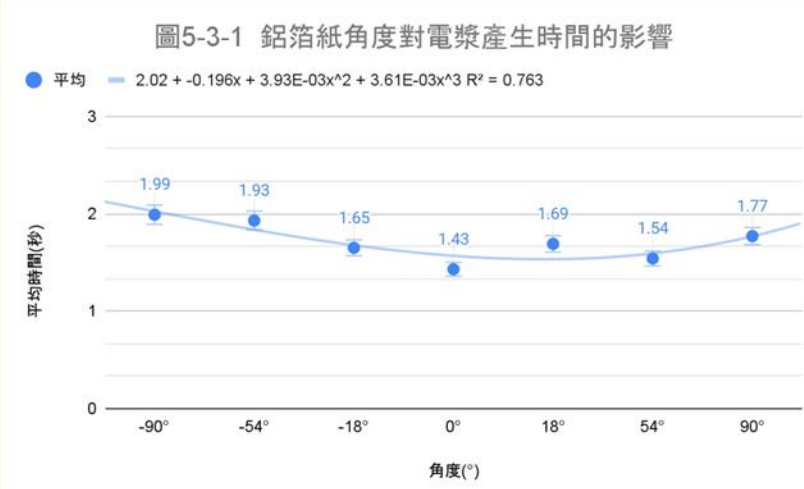
二、微波強度對電漿產生速度的影響

- 結果**：依照圖5-2-1，**趨勢線**大致上呈現**U字形**，推斷**微波強度**不能太強也不能太弱，必須適中。
- 原理**：微波功率增加，**尖端放電**的效果越強，但當一瞬間產生高熱時，會把周圍的空氣擠走，阻斷了**電漿**形成的條件，因而**平均時間**較長。
- 發現**：**微波電漿**的產生有自己最適合的**功率**。



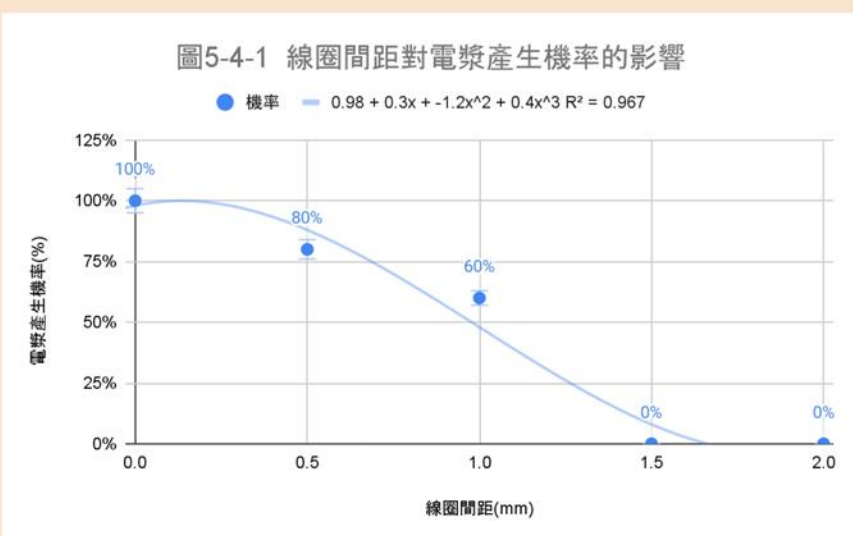
三、鋁箔紙角度對電漿產生速度的影響

- 結果**：當**鋁箔紙角度**越接近零，電漿產生的速度越快。
- 原理**：鋁箔紙可以**反射**微波。不同角度，微波反射角度也不一樣，我們進而發現，當**三角形鋁箔紙角度**為零時，**球形鋁箔**能吸收更多鋁箔反射的電漿，所以**電漿產生的速度**較快。
- 發現與應用**：**三角形鋁箔紙**能**反射**微波、**球形鋁箔**能吸收**反射**而來的微波，並減少產生電漿的時間。

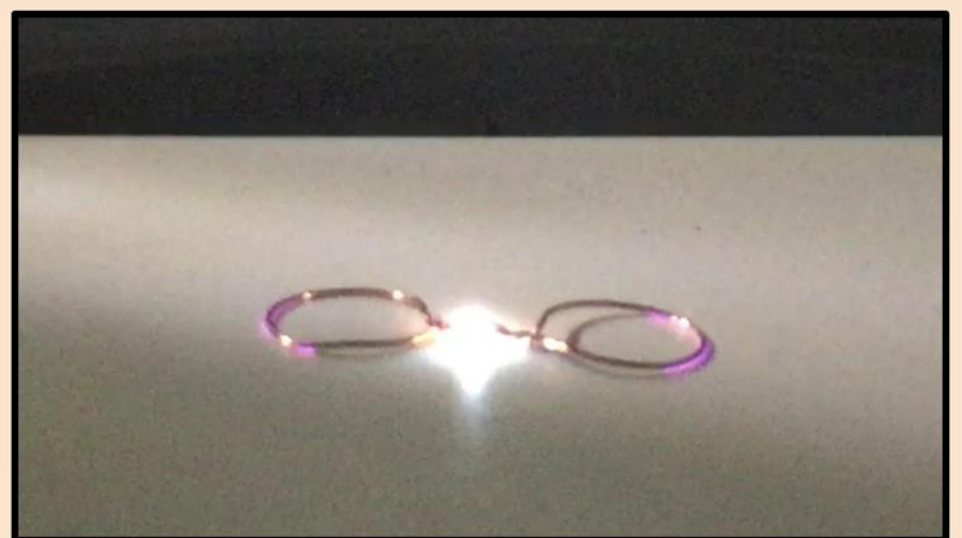


四、線圈間距對電漿產生機率的影響

- 結果**：**間距**至少要1mm以下才會產生電漿，可見**線圈距離**是電漿產生的一大變因。
- 原理**：當距離過遠時，兩個**漆包線圈**間的影響力減弱，進而影響了**尖端放電**的成功率，才導致當距離過遠時就無法產生電漿。
- 新應用與發現**：我們發現**漆包線圈**的**漆**不要刮掉的話較容易產生電漿，推測是因為如果有留漆的話，當產生高熱時，漆會**昇華**成**氣態**，而因為**氣態漆**為**有機物**，所以更容易形成電漿。

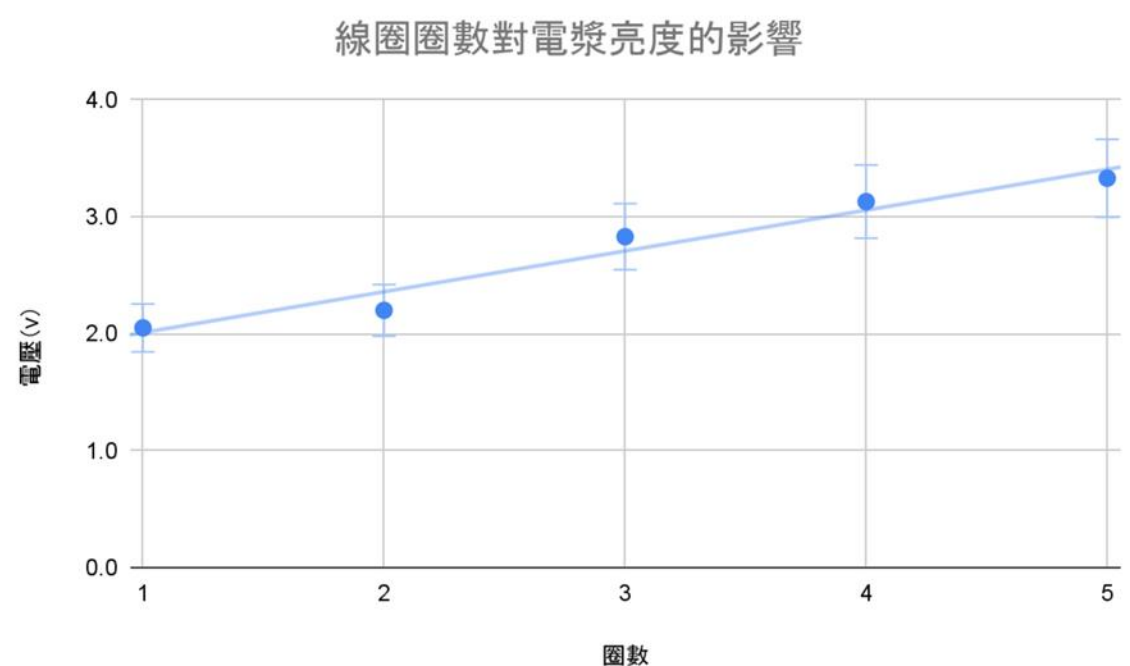


線圈充滿能量



五、線圈圈數對電漿亮度的影響

- 結果**：**線圈圈數**越多**電漿亮度**越亮，同時，**太陽能光電板**的**電量**也增加。
- 原理解釋**：**漆包線圈**的**圈數**越多時，**尖端放電**的**電壓**會越大，**游離化**的**氣體**也會越多，使整體的**亮度**增加，進而讓**太陽能光電板**產生更高壓的電。
- 新發現與新應用**：透過量測**太陽能光電板**產生的**電壓**，來測出電漿的**強度**。



亮度測定裝置



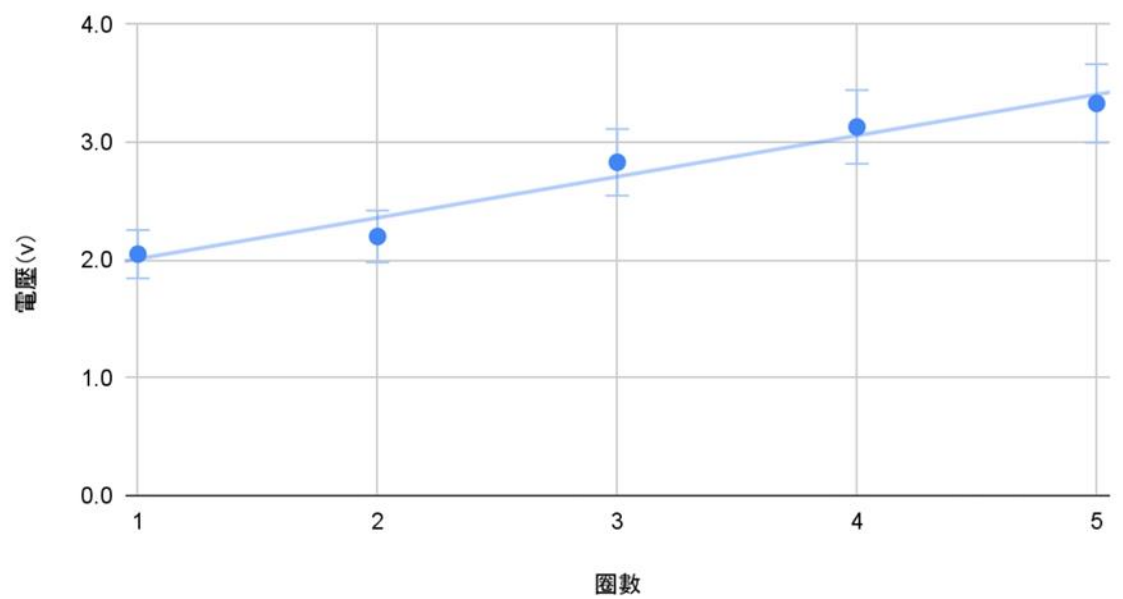
六、線圈圈數對電漿電壓(AC)大小的影響

1.結果：線圈圈數只有1圈時電壓最大，其他則差異不大(水平)。

2.原理：線圈圈數大於1圈時，會產生「短路現象」，使線圈高熱，釋放感應電流。而釋放越多能量，殘餘下來可以測得的能量就相對變少了。

3.發現及應用：產生電漿前，就已經有「感應電流」(約5ACV)。

線圈圈數對電漿亮度的影響



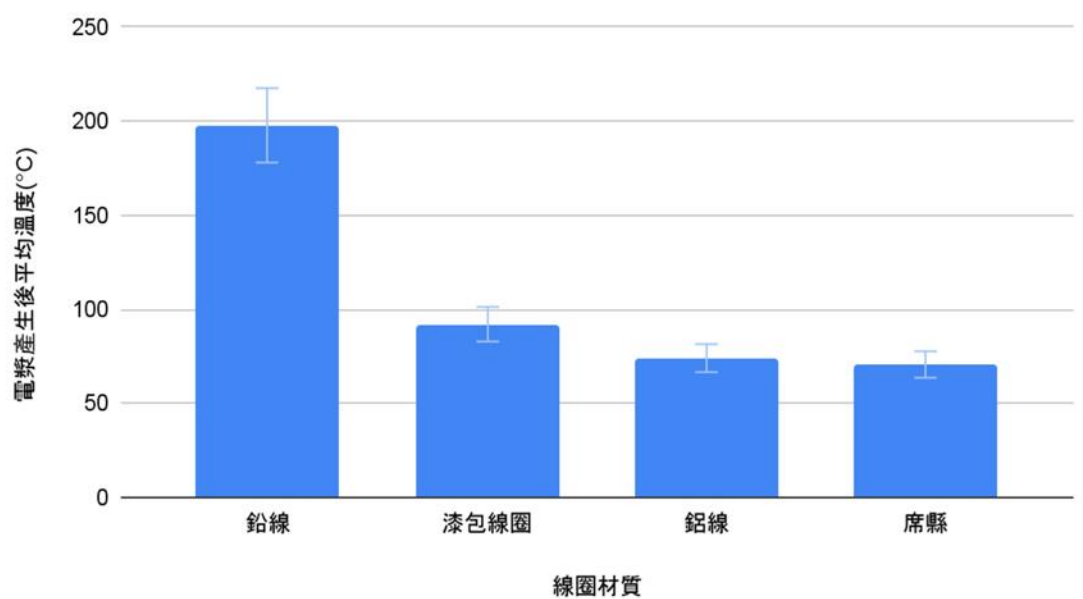
七、線圈金屬材質對電漿產生後溫度的影響

1.結果：鉛線效果最佳，漆包線圈次之，其餘的則幾乎相同。

2.原理：鐵(鉛線)之所以溫度較高是因為它是磁性物質，能和電磁波產生交互作用。漆包線圈因為有漆(有機物質)。其餘兩種金屬物質則無上述特性。

3.發現及應用：熔點低的金屬在產生第一次電漿後尖端就會溶掉斷開，無法產生持久的電漿。

圖5-7-1 線圈金屬材質對電漿產生後溫度的影響



伍、結論

一、聚丙烯酸鈉橫截面對電漿產生次數的影響

- 1.聚丙烯酸鈉的橫截面大小和電漿產生的機率沒有顯著的關聯性。
- 2.橫截面積越小；電漿產生的亮度也越小。
- 3.水晶寶寶越大，越容易使水晶寶寶膨脹而炸裂。

二、微波強度對電漿產生時間的影響

- 1.推斷微波強度不能太強也不能太弱，必須適中。

三、鋁箔紙角度對電漿產生次數的影響

- 1.微波發散方向對鋁箔平面的入射角夾角越大，則單位面積微波的入射量越少，金屬被吸收量越少，產生電漿所需時間越長。
- 2.要提升側向微波的吸收量，則鋁箔長度=3.14*曲率半徑(圍成半圓)時，可達最大。

四、線圈間距對電漿產生機率的影響

- 1.間距至少要1.0mm以下才會產生電漿。

五、線圈圈數對電漿亮度的影響

- 1.線圈圈數越多電漿亮度越亮，同時，太陽能光電板的電量也增加。

六、線圈圈數對電漿電壓(AC)大小的影響

- 1.線圈圈數只有1圈時電壓最大，其他則差異不大(水平)。
- 2.線圈圈數大於1圈時，會產生「短路現象」，使線圈高熱，釋放感應電流。

七、線圈金屬材質對電漿產生後溫度的影響

- 1.鉛線效果最佳，漆包線圈次之，其餘的則幾乎相同。
- 2.磁性物質，能產生更強的電漿。

電漿熔化的銅



陸、參考文獻

國家實驗研究院 (2023) 奇妙的電漿與電漿的應用· 科普講堂。20230306節錄自：<https://www.narlabs.org.tw/xscience/cont?xsmsid=01148638629329404252&qcat=01164512522332344267&sid=01123382852944198982>

董家齊、陳寬任(2002)奇妙的物質第四態——電漿· 科技大觀園。20230306節錄自：<https://scitechvista.nat.gov.tw/Article/c000003/detail?ID=411e3cd9-44a6-4220-b7b1-96ff3c3d82ec>

王尊信 (2009) 微波· 科學Online。20230306節錄自：<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=2467>

Audison Hong Kong (2021) 集膚效應-Skin Effect是什麼? Multi-Waves Audio Company。20230306節錄自：<https://www.facebook.com/audisonhongkong/posts/2255816261218848/>

王尊信 (2009) 尖端放電 (Corona discharge) · | 科學Online。20230306節錄自：<https://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=2779>

周啟 (2017) 第6章物質內之電場· 電磁學[https://cu.nsysu.edu.tw/base/10001/course/10040512/content/public/106/ELECTROMAGNETISM\(1\)/%E7%AC%AC6%E7%AB%A0%E7%89%A9%E8%B3%AA%E5%85%A7%E4%B9%8B%E9%9B%BB%E5%A0%B4.pdf](https://cu.nsysu.edu.tw/base/10001/course/10040512/content/public/106/ELECTROMAGNETISM(1)/%E7%AC%AC6%E7%AB%A0%E7%89%A9%E8%B3%AA%E5%85%A7%E4%B9%8B%E9%9B%BB%E5%A0%B4.pdf)

YouTube (2023) 「The Microwave Plasma Mystery」。20230306節錄自：<https://www.youtube.com/watch?v=l0u8Vtf2GoQ&t=1s>

YouTube (2023) 「Making Scary Plasma in a Microwave」。20230306節錄自：<https://www.youtube.com/watch?v=x5BFIVDUQPE>