

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高級中等學校組 工程學(二)科

第二名

052406

空氣冷淬效應於氮氣常壓噴射電漿碳布改質之
影響：應用於聚苯胺-奈米碳管複材超級電容

學校名稱：臺北市立第一女子高級中學

| | |
|---------------|--------------|
| 作者： 高二 陳品頤 | 指導老師： 張清俊 |
|---------------|--------------|

關鍵詞：超級電容、常壓電漿、碳布

摘要

本作品研究空氣冷淬效應於氮氣常壓噴射電漿碳布改質之影響，改質碳布並應用於聚苯胺-奈米碳管複材超級電容。操作常壓噴射電漿處理碳布時的氣體通過石英管內外流速差造成壓力差(伯努力定律)將環境中空氣引入噴射電漿下游同步和氮氣電漿高反應性粒子及碳纖維進行反應。由 XPS 分析結果，無論有無空氣冷淬，常壓電漿處理有效可改質碳布碳纖維，在碳纖維表面產生含氧官能基且有滲氮效果，改善碳布親水性。無處理碳布具有高水接觸角，電漿處理後水珠完全滲入碳布。引入環境空氣處理的碳布具有較高量含氧官能基，即空氣中氧氣有效參與反應。高親水性的碳布電極可增加和電解液接觸面積，降低介面阻抗，增加電容值。常壓電漿處理可有效增加電容值。

壹、研究動機

常壓電漿可以在常壓下操作而不需要真空幫浦和腔體，因此在運作上較為經濟。在處理大尺寸試片時也不會受限於真空腔體的大小。因此近年來在生醫、農業、食品工程、材料表面改質、材料接合方面有相當多的應用。不同的電漿激發方法和電極設計可以產生不同氣體分子溫度、電子溫度、電荷濃度的電漿，因此可以有不同的應用。常見的常壓電漿形式有電暈放電(corona discharge)、介電質放電(dielectric barrier discharge, DBD)電漿、轉移電弧(transferred arc)噴射電漿等等。常壓電漿常用一高流速氣體進行冷卻及帶出電漿高反性粒子，既統稱為常壓噴射電漿。常壓電漿常伴隨臭氧及紫外光的生成，在生醫或農業上常利用這部分的性質。有些常壓電漿具有數百度攝氏溫度，電漿高反應性粒子和溫度的協同作用可以加速材料的製程反應。由於地球氮氣含量豐富，同時具有可循環性，因此氮氣常壓電漿為一環境友善的技術。過去的研究証實氮氣電弧式常壓電漿具有碳材的快速反應能力，已經被用在液流電池、微生物燃料電池、超級電容、染料敏化太陽能電池等製程。共平面式介電質放電(coplanar DBD)電漿常用於捲對捲大面積的材料製程。而噴射式的常壓電漿用於大面積製程時，往往會用多噴頭型式及掃描平台。

超級電容為一具有高功率密度的儲能元件。超級電容常具的儲能機制有電雙層電容(electrical double layer capacitance)及擬電容(pseudocapitance)。電雙層電容主要為電極/電解液介面的離子吸附所造成，通常發生在碳電極材料，例如：碳黑、奈米碳管、石墨烯等等。擬電容則和材料表面的氧化還原反應有關，通常發生在多價態金屬氧化

物及導電高分子。由於高比表面積的特性，奈米碳管及石墨烯為近年來熱門的超級電容材料。本研究以奈米碳管及導電高分子聚苯胺(polyaniline)複合材料超級電容作為研究平台。奈米碳管可貢獻電雙層電容，而聚苯胺可貢獻擬電容以增加超級電容電容值。

之前的研究使用氮氣常壓噴射電漿進行碳布的改質，並有效提高電容值。之前的實驗在常壓電漿下游隔絕大部分環境空氣影響，而氧的參與反應有可能和氮氣電漿高反應性粒子形成氧化氮，降低電漿反應性；亦有可能參與碳布碳纖維的氧化反應。另一方面，高反應性粒子和環境中溫度較低之環境空氣分子反應，也可能冷淬高能量電漿粒子，使得電漿反應性下降。因此本實驗在操作常壓噴射電漿處理碳布時的氣體通過石英管內外流速差所造成的壓力差(白努力定律)將環境中的空氣引入噴射電漿下游同布和氮氣電漿高反應性粒子及碳布的碳纖維進行反應，並實驗探討空氣參與反應對碳布改質及超級電容電容值之影響。

貳、研究目的

之前的研究使用氮氣常壓噴射電漿進行碳布的改質，並有效提高電容值。本研究進一步探討空氣冷淬效應於氮氣常壓噴射電漿碳布改質之影響，並將其應用於聚苯胺-奈米碳管複材製作之超級電容。本研究將電漿處理碳布時使用之玻璃套筒開鑿一側孔，比較無處理、有無開側孔石英管的實驗條件下，氧氣參與反應與常溫冷淬效應對碳布改質之影響，及其對超級電容之電容值的影響。

參、研究設備及器材

一、碳布處理：常壓噴射電漿(Atmospheric Pressure Plasma Jet, APPJ)



圖 3-1：常壓噴射電漿

二、電容製作材料與設備：

- (一) 漿料：奈米碳管(CNT)、聚苯胺(polyaniline, PANI)、酒精、無水萜品醇(Terpineol)、乙基纖維素#46070、乙基纖維素#46080

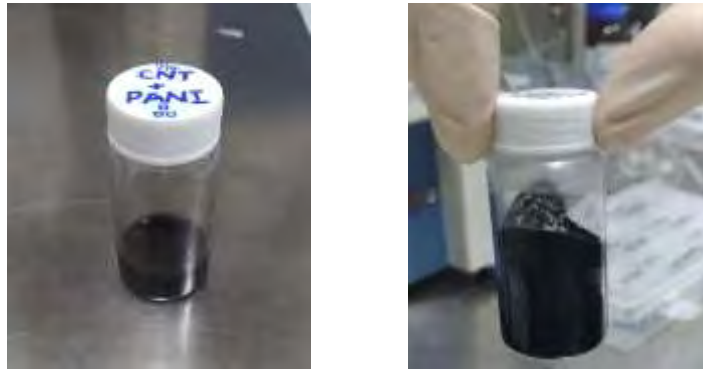


圖 3-2：調製完成之漿料

- (二) 碳纖維布、塑膠板、硫酸、聚乙烯醇

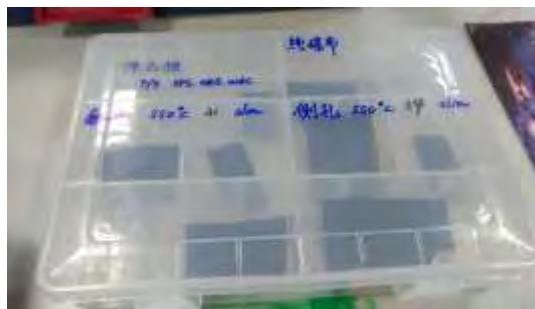


圖 3-3：未處理、經電漿有無開孔處理之碳纖維布

- (三) 網印機、網印板

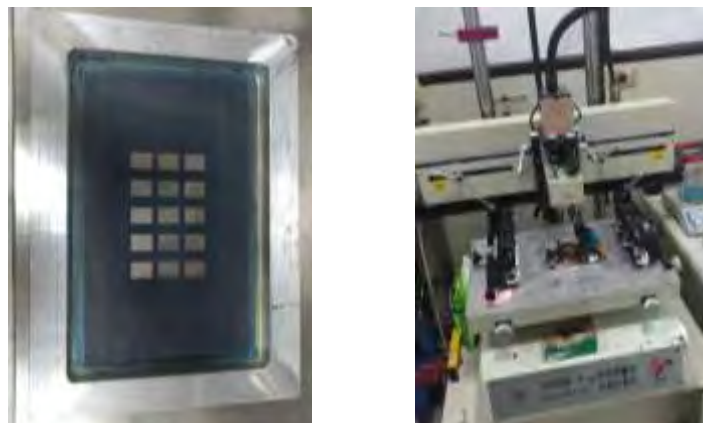


圖 3-4：網印板、網印機

三、分析儀器與軟體：

(一) X 光電子能譜儀 (二) 水接觸角測量儀 (三) 電子顯微鏡 (四) 電化學工作站

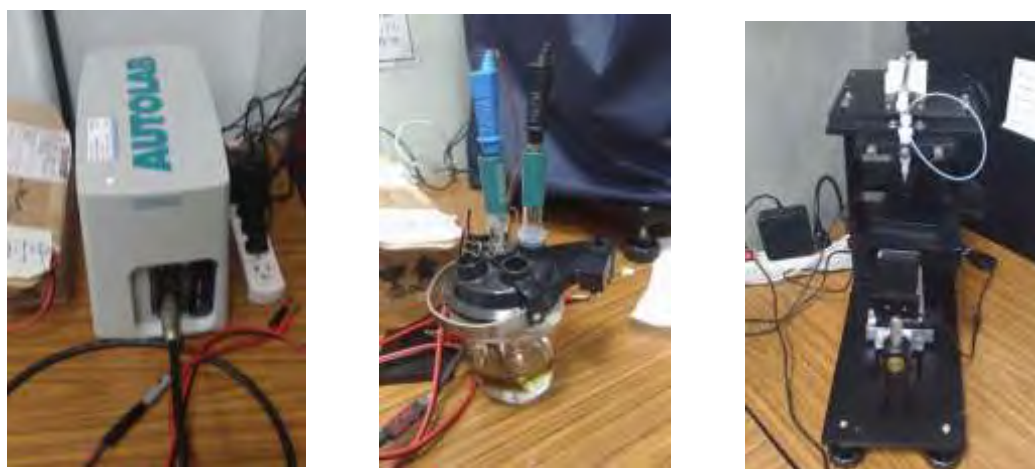


圖 3-5：電化學工作站、水接觸角測量儀

肆、研究過程與方法

一、超級電容製作：

為了根據實驗需求，以未處理碳布、無開側孔石英管電漿處理、開側孔石英管電漿處理為操作變因，自製超級電容：

(一) 將碳布置於可移動平台上，以 APPJ 做有無開側孔處理、不處理掃描共計 2 次(來回接觸各一次)。由於開側孔者若設定與未開側孔之流量條件相同，前者溫度會比後者低 200°C 左右，因此利用調整流速使電漿處理溫度固定：未開側孔者流量約 42 slm；未開側孔者流量則約 34 slm。

(二) 裁減碳布至適當大小(4cm*5cm，再分成兩個 L 型)作為電極並秤重；裁減塑膠基板(2cm*3cm)。



圖 4-1：裁減碳布

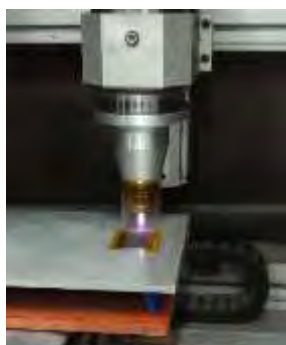


圖 4-2：APPJ 儀器

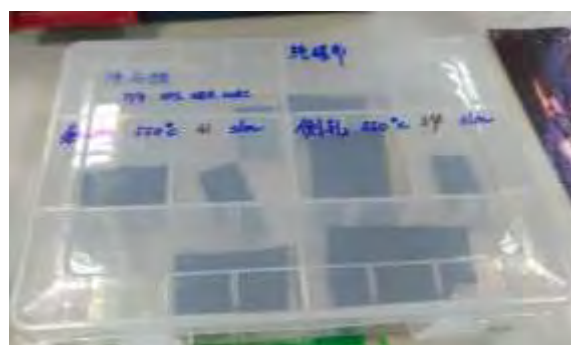


圖 4-3：APPJ 處理結果

(三) 調配漿料：將奈米碳管(CNT) 0.05g，聚苯胺(PANI) 0.05g，酒精 1.5g，無水萘品醇 (Terpincol) 0.811g，乙基纖維素#46070 0.44g，乙基纖維素#46080 0.56g 充分混合。



圖 4-4：奈米碳管

(四)抽掉混合完成之漿料中多餘的酒精，再網印於處理好的碳布上。烘箱烘乾後秤重，了解漿料之塗佈情形。裁減碳布，僅留下網印部分與夾取處。



圖 4-5：裁減完成之碳布

(五) 組裝碳布、電解液、塑膠基板，接合兩片成為超級電容，以進行實驗。

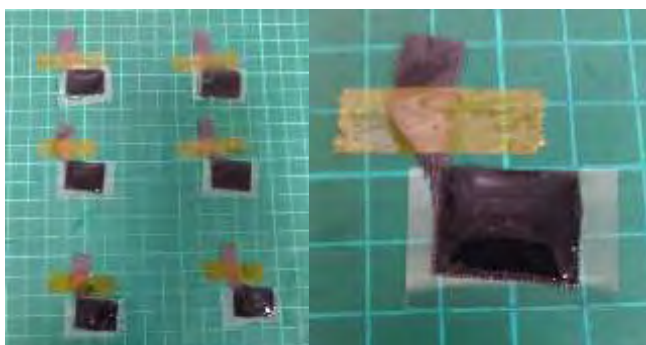


圖 4-6：組裝碳布、電解液



圖 4-7：完成超級電容

二、材料性質測量與分析

本研究探討在電漿處理時開鑿側孔，根據白努力定律，噴管中央流速較高、壓力較外界空氣小，因此大氣中的氧氣得以藉由側孔進入噴嘴內，和碳布進行反應，觀察碳布之材質改變、碳布表面化學鍵結情形、電容成品親水與否與電阻值變化情形。分析方式如下：

- (一) 電子顯微鏡(SEM)：直接觀察碳纖維表面在不同處理方式之下是否有所差異。
- (二) X 射線光電子能譜學(XPS)：利用 X 光激發電子，量測光電子動能，由入射 X 光能量及光電子動能及材料功函數反推鍵結能，探討化學鍵結及材料成分。

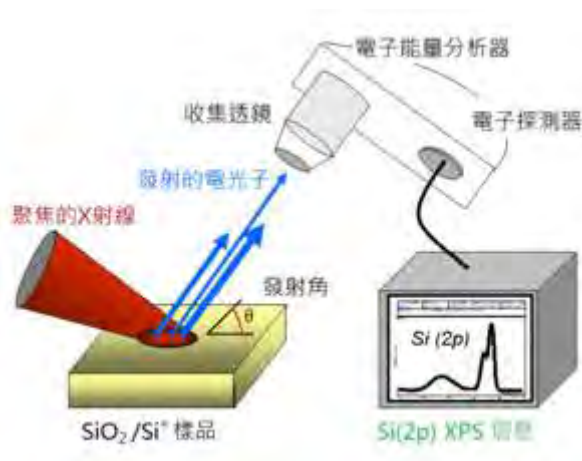


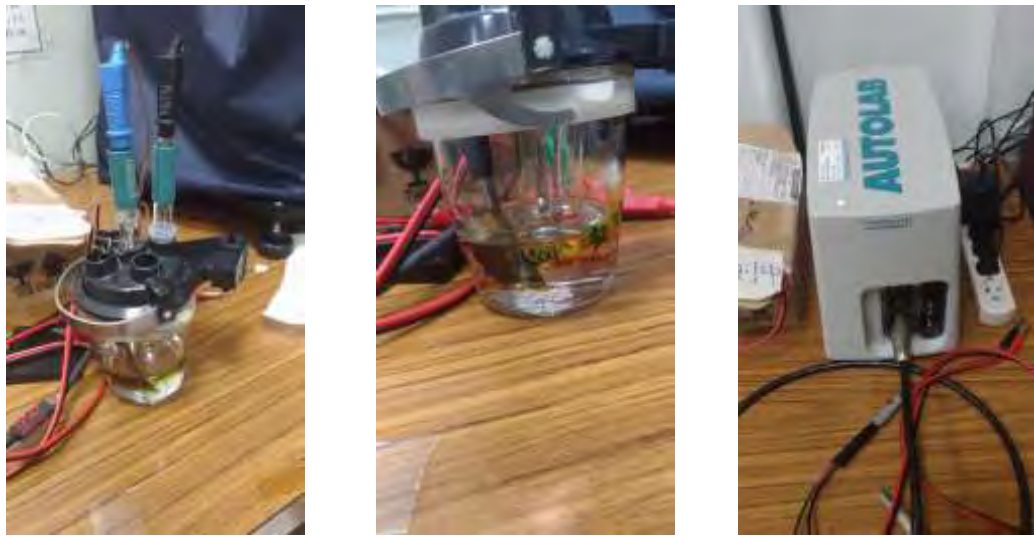
圖 4-8：XPS 分析示意圖

- (三) 水接觸角測量(WCA)：錄製影片觀察水滴接觸電漿處理過之碳布表面後之情形，觀察碳材是否親水。



圖 4-9：水接觸角樣本。左：無側孔處理，右：開側孔處理

(四) 三極法測量(EIS)：將碳布電極進行電化學交流阻抗頻譜，根據物理等效電路進行分析。



圖：電化學檢測

(五) 二極法定電流充放電電容值量測(GCD)：測量在不同電流密度下電容的變化。

伍、研究結果與討論

一、常壓電漿噴射

圖 5-1 為電弧式常壓噴射電漿的示意圖。先前研究在電漿下游設置一石英管，其與下方碳布間格約 1mm 的距離，本研究增加以開側孔之方式引入環境空之空氣參與反應。試片置於電動移動平台，可以進行掃描，處理較大之試片。本實驗主要使用氬氣做為電漿氣體。激發的電源為直流脈衝型式。

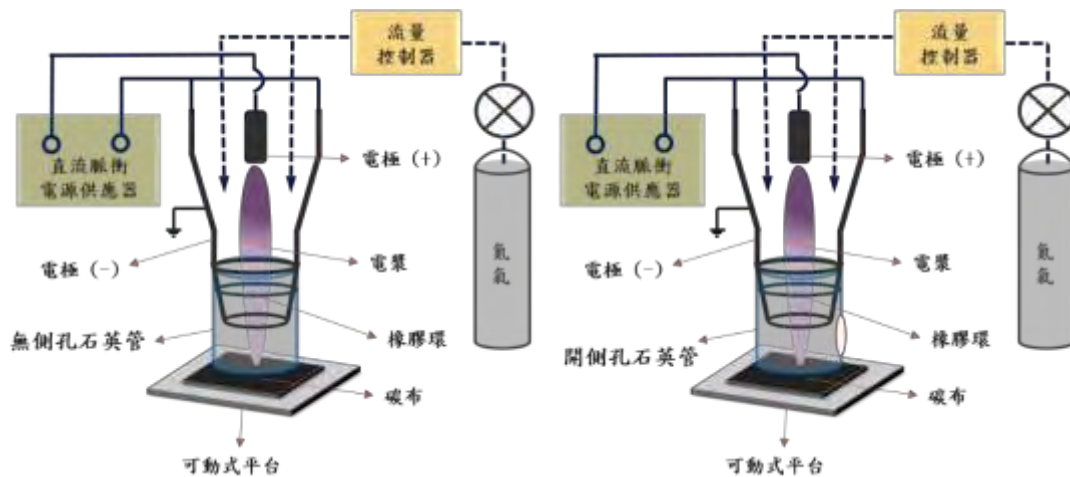


圖 5-1：常壓噴射電漿設備示意圖

二、常壓電漿掃描碳布溫度分布圖

圖 5-2 為常壓電漿掃描碳布之溫度分布圖。噴射電漿掃描到位置，溫度急速上升。本實之碳布來回掃描兩次，因此有兩個峰值。石英管有開側孔之常壓電漿因為冷淬效應，電漿氣體分子溫度一般較低，為了排除溫度因素的影響，本研究調整流量峰值溫度調到大致相同。

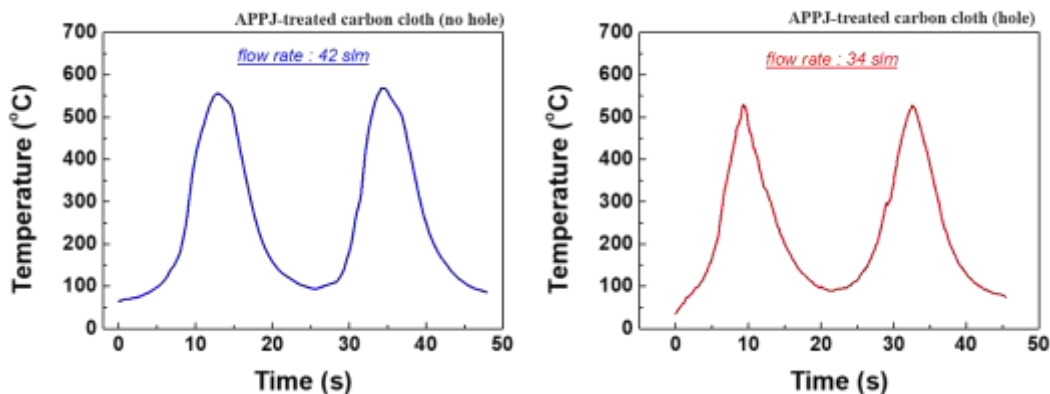


圖 5-2：掃描過程之溫度變化。

三、電子顯微鏡照片(SEM)

圖 5-3 為碳布碳纖維之電子顯微鏡照片。未處理之碳布表面有顆粒不等的雜質，推測是造成其不親水之原因。無處理之碳纖維表面較平滑，而常壓電漿處理後有異於為處理碳布上之雜質的白點產生，有開側孔的實驗條件比無開側孔的條件更為明顯，此白點之成分組成仍不清楚，需要待以後進一步以其他方式分析。

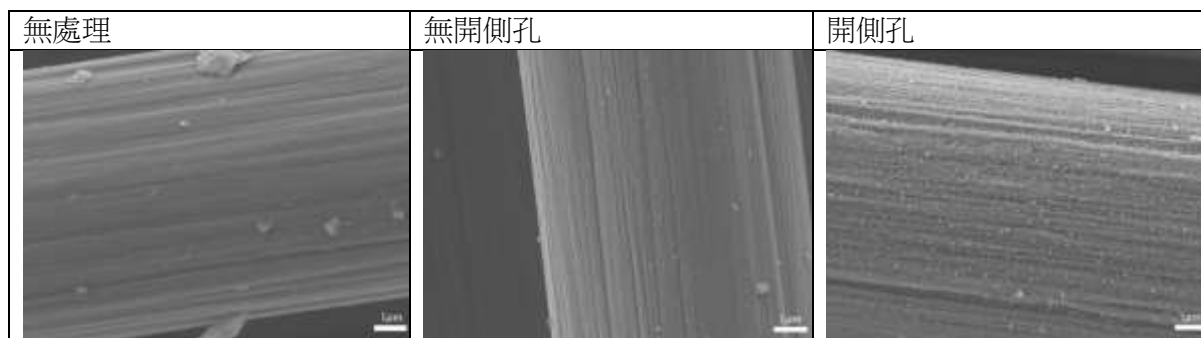


圖 5-3：電子顯微鏡照片。

四、X 射線光電子能譜學(XPS)

圖 5-4 為 X 光電子寬掃描(wide scan)能譜圖。很明顯可以看出氮氣常壓電漿處理後有氮摻雜的現象發生，同時氧含量上升。有開側孔的實驗的氧化量更為顯著，代表環境中的氧參與進行反應。

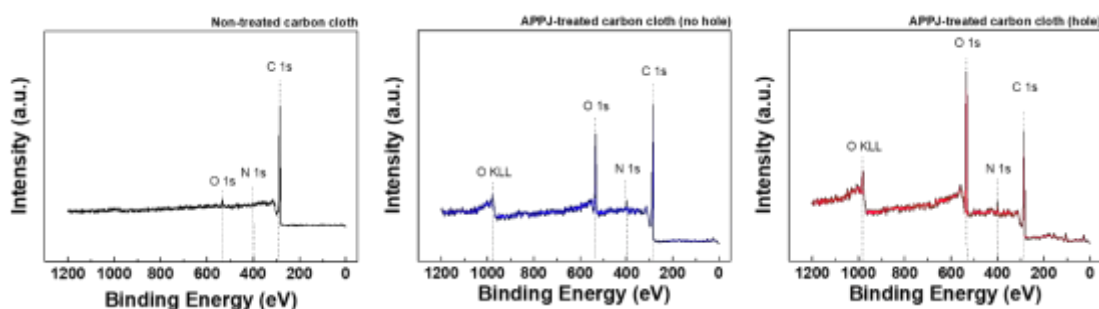


圖 5-4：X 光電子寬掃描(wide scan)能譜圖

五、XPS 碳、氮、氧成分分析

表 5-1 為根據 X 光能譜圖所做的碳氧氮成分分析，明顯看出碳比例常壓電漿處理後由 95.83% 下降至 73.16%，而在有開側孔的條件下碳含量更低，只有約 55.8%。未處理沒有氮的訊號，而常壓電漿處理後，氮的含量約 5% 左右。氧含量則由未處理的 4.17% 上升至 21.71% (無側孔)，有開側孔的氧含量更提升到 39.70%。一般親水含氧官能基及滲氮均會增加碳材的親水性，這一點的實驗可以在後面的水接觸角實驗得到驗證。

表 5-1 碳、氧、氮成分分析

| Atomic ratio (%) | Non-treated carbon cloth | APPJ-treated carbon cloth (no hole) | APPJ-treated carbon cloth (hole) |
|------------------|--------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| C | 95.83 | 73.16 | 55.80 |
| N | 0 | 5.13 | 4.50 |
| O | 4.17 | 21.71 | 39.70 |

六、水接觸角

圖 5-5 為水接觸角實驗結果。未處理之碳布具有相當大之水接觸角(~143°)，為一疏水表面，常壓電漿處理後，水滴整個滲入碳布，呈現親水狀態，此一親水狀態能有利於碳布集流電極和電解液之接觸，增加接觸面積，降低介電阻抗，因此可以提升電容值。後面的定電流充放電電容值測定及電化學交流阻抗可以解釋這部分的實驗結果。

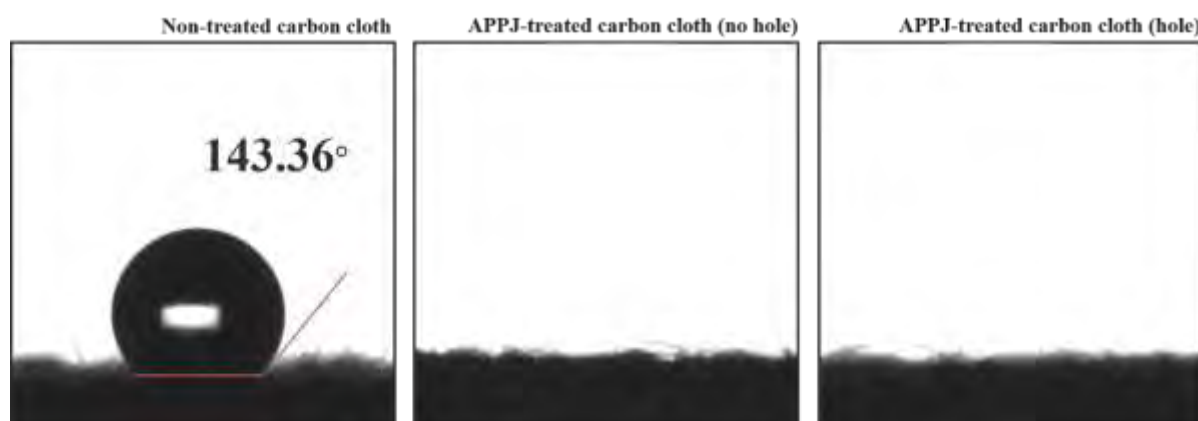


圖 5-5 : 水接觸角實驗結果

七、電化學交流阻抗分析(EIS)

圖 5-6 (a)為等效電路之模擬圖。圖 5-6 (b)為電化學交流阻抗分析之實驗結果。由模擬電路之擬合，所得到之電路參數如表二所示。很明顯介面電阻 R_{ct} 在未處理的條件下為 12050，在常壓電漿處理後下降。介面電阻的下降有利於電荷傳輸，而擬合之電容值 $CPE-T$ 也上升，這點與後面的定電流充放電的電容值測定相符。

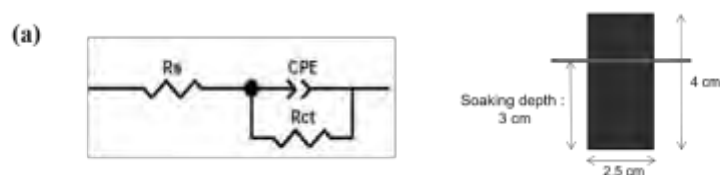


圖 5-6 (a) : 電化學交流阻抗分析等效電路圖

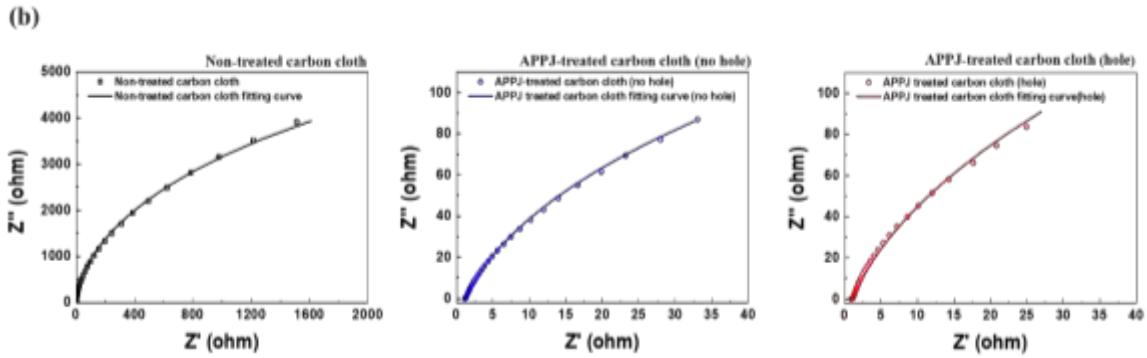


圖 5-6 (b) : 電化學交流阻抗實驗結果及電路擬合結果

| | R_s (Ω) | R_{ct} (Ω) | CPE-T (F) | CPE-P |
|--------------------------------------------|--------------------|-----------------------|------------|---------|
| Non-treated carbon cloth | 1.253 | 12050 | 0.00034355 | 0.98282 |
| APPJ treated carbon cloth (no hole) | 1.187 | 414.1 | 0.0094973 | 0.91827 |
| APPJ treated carbon cloth (hole) | 0.96966 | 646.5 | 0.013871 | 0.92007 |

表二 電化學交流阻抗分析電路參數值擬合結果

八、定電流充放電(GCD)

下圖為定電流充放電之實驗結果，電容值以由下面式子計算。計算之電容值如表三所示。C_A為面積比電容，而 C_S為比克電容。

$$C_A = \frac{4I \cdot T}{A \cdot \Delta V} \quad (1)$$

$$C_S = \frac{4I \cdot T}{m \cdot \Delta V} \quad (2)$$

A : 電極巨觀面積

m : 兩個電極之有效質量

I : 定電流值

T : 充電或放電週期

由結果可以很明顯看出常壓電漿處理之碳布可有效提升電容值，比電容值在無開孔的條件下提升了約 33%，而在有開側孔的條件下提升了約 17%。開側孔實驗條件雖然造成較高的含氧量，但是對超級電容之電容值並無明顯的提升效果。

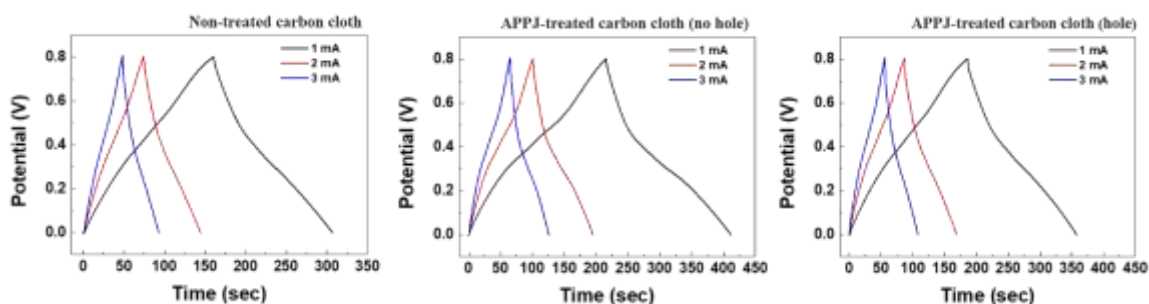


圖 5-7 : 定電流充放電實驗結果

表三 定電流充放電之面積比電容和比克電容計算結果

| Constant Current (mA) | Non-treated carbon cloth | | APPJ treated carbon cloth (no hole) | | APPJ treated carbon cloth (hole) | |
|-----------------------|-----------------------------|-------------|-------------------------------------|-------------|----------------------------------|-------------|
| | C_A (mF/cm ²) | C_S (F/g) | C_A (mF/cm ²) | C_S (F/g) | C_A (mF/cm ²) | C_S (F/g) |
| 1 | 122.5 | 335.6 | 163.3 | 433.6 | 143.3 | 425.8 |
| 2 | 116.7 | 319.6 | 158.3 | 420.3 | 140.0 | 415.9 |
| 3 | 110 | 301.4 | 152.5 | 404.8 | 132.5 | 393.6 |

陸、結論

本研究研究空氣冷淬效應於氮氣常壓噴射電漿碳布改質之影響，所改質的碳布並應用於聚苯胺-奈米碳管複材超級電容。由 X 光電子能譜的分析結果，常壓電漿處理有效改質碳布碳纖維，在碳纖維表面產生含氧官能基，同時有滲氮效果，大幅改善碳布的親水性。無電漿處理的碳布具有~143°高水接觸角，常壓電漿處理後水珠完全滲入碳纖維布，呈現親水狀態。有引入環境空氣(有空氣冷淬)所處理的碳布具有較高量的含氧官能基，代表空氣中的氧氣有效參與反應。高親水性的碳布電極可以增加和電解液接觸面積，降低介面阻抗，增加電容值。常壓電漿處理可以增加電容值約 17%-33%。雖然開側孔之實驗條件可以讓碳纖維含氧官能基含量太伏上升，但是並沒有對電容值的提升有所幫助。

柒、參考資料

- 一、Shih-Hang Chang et la., Feasibility study of surface-modified carbon cloth electrodes using atmospheric pressure plasma jets for microbial fuel cells, *Journal of Power Sources*, 336 (2016) pp.99-106.
- 二、Hung-Hua Chien et al., Improved performance of polyaniline/reduced-graphene-oxide supercapacitor using atmospheric-pressure-plasma-jet surface treatment of carbon cloth, *Electrochimica Acta*, 260 (2018) pp.391-399
- 三、Zhiyong Gao et al., Graphene incorporated, N doped activated carbon as catalytic electrode in redox active electrolyte mediated supercapacitor, *Journal of Power Sources*, 337 (2017) pp.25-35.
- 四、Changshui Wang et al., Activated carbon materials derived from liquefied bark-phenol formaldehyde resins for high performance supercapacitors, *RSC Advances*, 2016, 6, 105540.
- 五、Wikipedia - X-ray photoelectron spectroscopy : https://en.wikipedia.org/wiki/X-ray_photoelectron_spectroscopy

【評語】 052406

本作品研究空氣冷淬效應於氮氣常壓噴射電漿改質碳布之影響，並將改質之碳布應用於聚苯胺奈米碳管複材超級電容。此平台其實在過去已被廣為研究，但本作品將其中一個改質步驟優化，最重要的特色是，作者將氮氣常壓噴射電漿的石英管，挖洞導入空氣，使碳布表面增加含氧官能基，同時有滲氮效果，以增加親水性。本作品在空氣參與反應對碳布改質及複材超級電容之電容值的影響，有相當系統性地分析，也證實常壓電漿處理能有效改質碳布碳纖維。

然而將修飾後碳布作為聚苯胺奈米碳管集電片，量測超級電容器之電容量的實驗結果並未能全如預期，例如，經引入空氣冷淬效應所修飾碳布做集電層之複合電容器並未增加比電容。建議作者能將聚苯胺奈米碳管複材與修飾碳布所製備之超級電容進一步做阻抗分析，尤其是主動層與集電層之介面電阻，並再參考相關文獻，以解釋實驗結果。其他仍可改進之處還有數項，例如，(i)應探討常壓電漿處理後碳布上白點之可能成分及產生機制，(ii)開側孔石英管電漿處理之操作變因分析空氣冷淬效應，(iii)宜說明調整流量峰值溫度之科學理論依據與預期效應等。同時，作者也未提供未開側孔流速 42slm 及開側孔流速 34slm 之實驗方式與結果。

整體而言，本作品仍屬相當成熟之作品，應有發表價值。

摘要

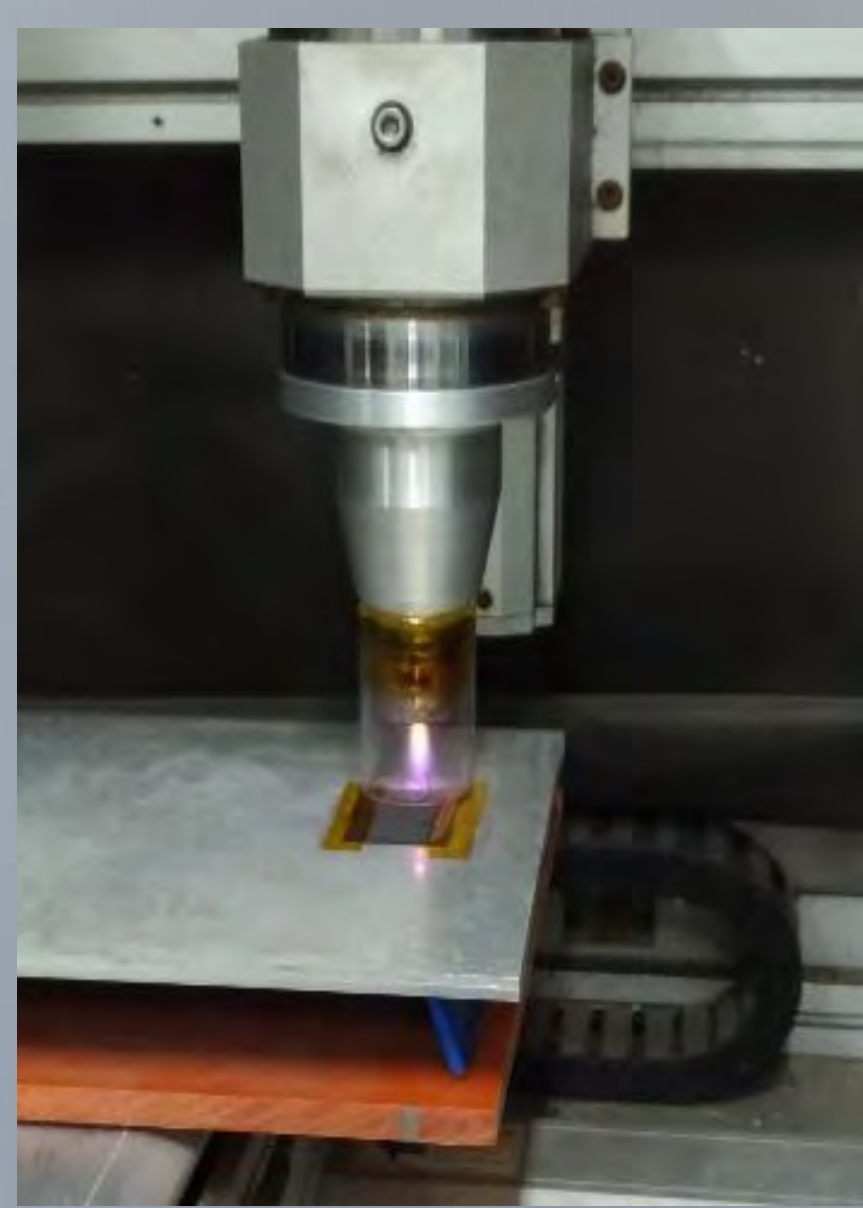
本作品研究空氣冷淬效應於氮氣常壓噴射電漿碳布改質之影響，並應用於聚苯胺-奈米碳管複材超級電容。空氣冷淬效應係指將常壓噴射電漿處理碳布時使用之玻璃套筒開鑿側孔，藉白努力定律原理將環境中空氣引入並與氮氣電漿高反應性粒子及碳布纖維進行反應，增加氮氣常壓電漿與碳布反應過程中氧氣的參與程度。分析發現常壓電漿處理者(尤其開側孔)可有效在碳纖維表面產生羥基、羧基等含氧官能基且有滲氮效果，使碳布由疏水性轉變為親水性。本研究成功製作高親水性的碳布電極，可增加和電解液之接觸面積，降低介面阻抗，增加電容值。

研究動機與目的

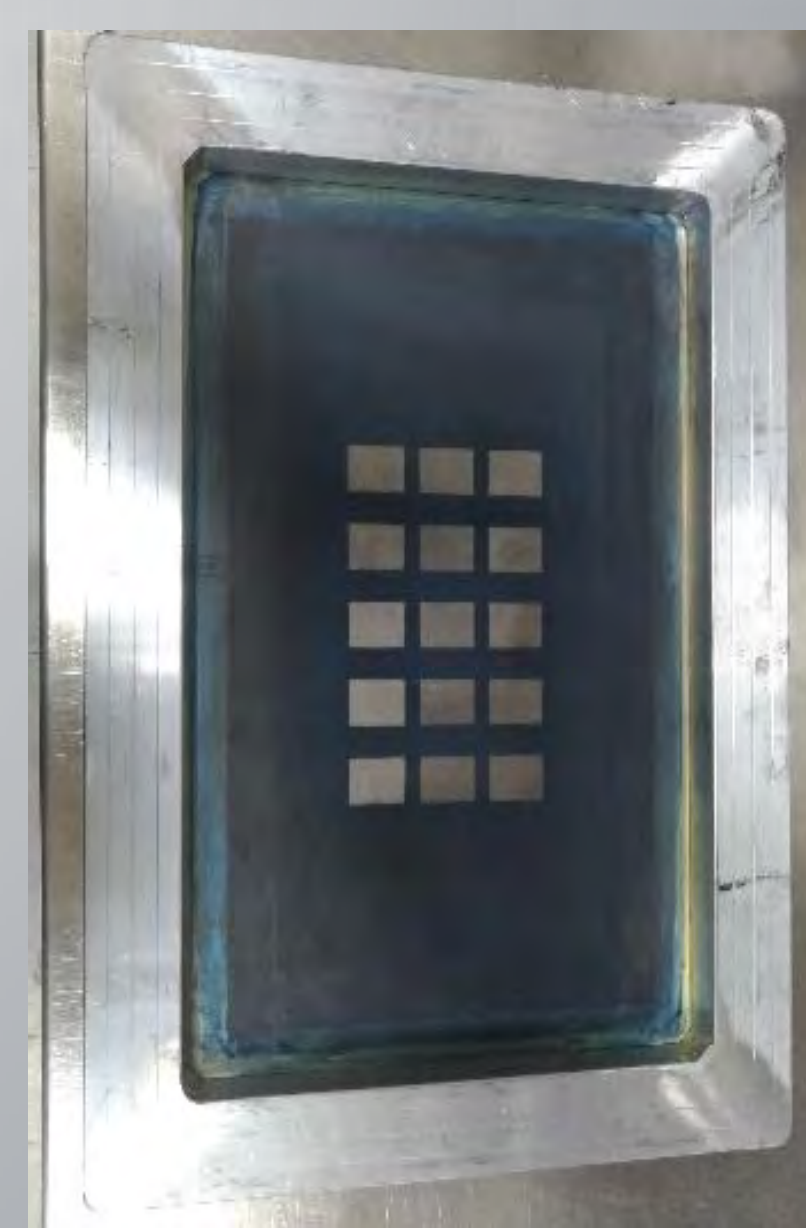
先前已有研究使用氮氣常壓噴射電漿(APPJ)進行碳布改質，並有效提高電容值。本研究進一步探討空氣冷淬效應於氮氣常壓噴射電漿碳布改質之影響，並將其應用於聚苯胺-奈米碳管複材製作之超級電容。本研究比較無處理、有無空氣冷淬的實驗條件下，氧氣參與反應與常溫冷淬效應對碳布改質之影響，及其對超級電容之電容值的影響。

利用本研究製作之親水碳材未來可進一步應用於液流電池、微生物燃料電池、太陽能電池、超級電容、電池等，解決今日能源儲存之議題。此製程技術及成品亦可望運用於運動員球衣、護具、醫院病患服、穿戴式裝置等結合IoT之生活應用層面。

研究設備與器材



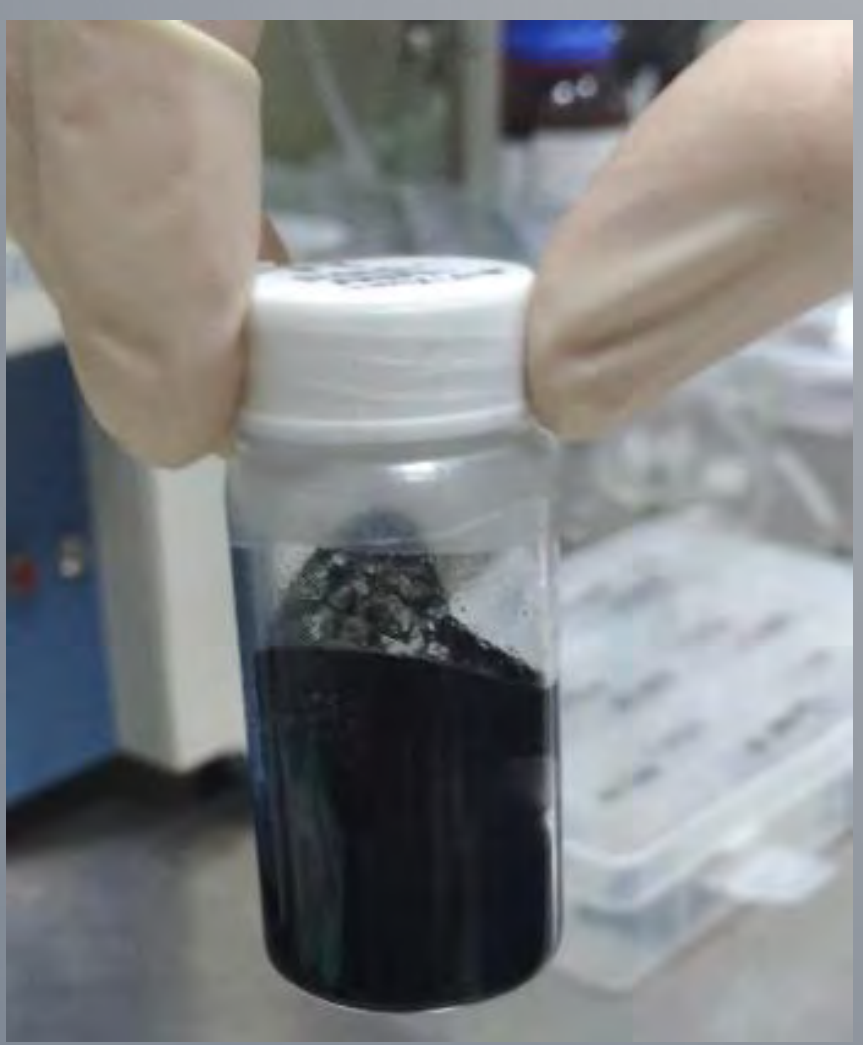
▲常壓噴射電漿(APPJ)



▲網印版、網印機



▲調配漿料

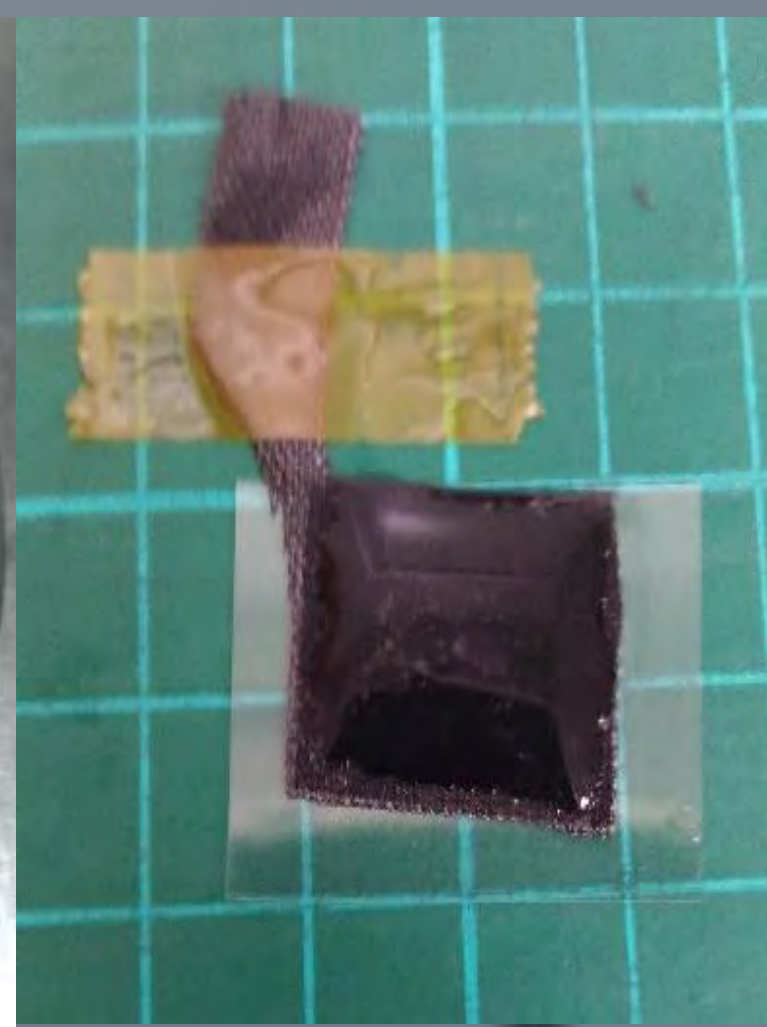


▲分析儀器

研究過程與方法

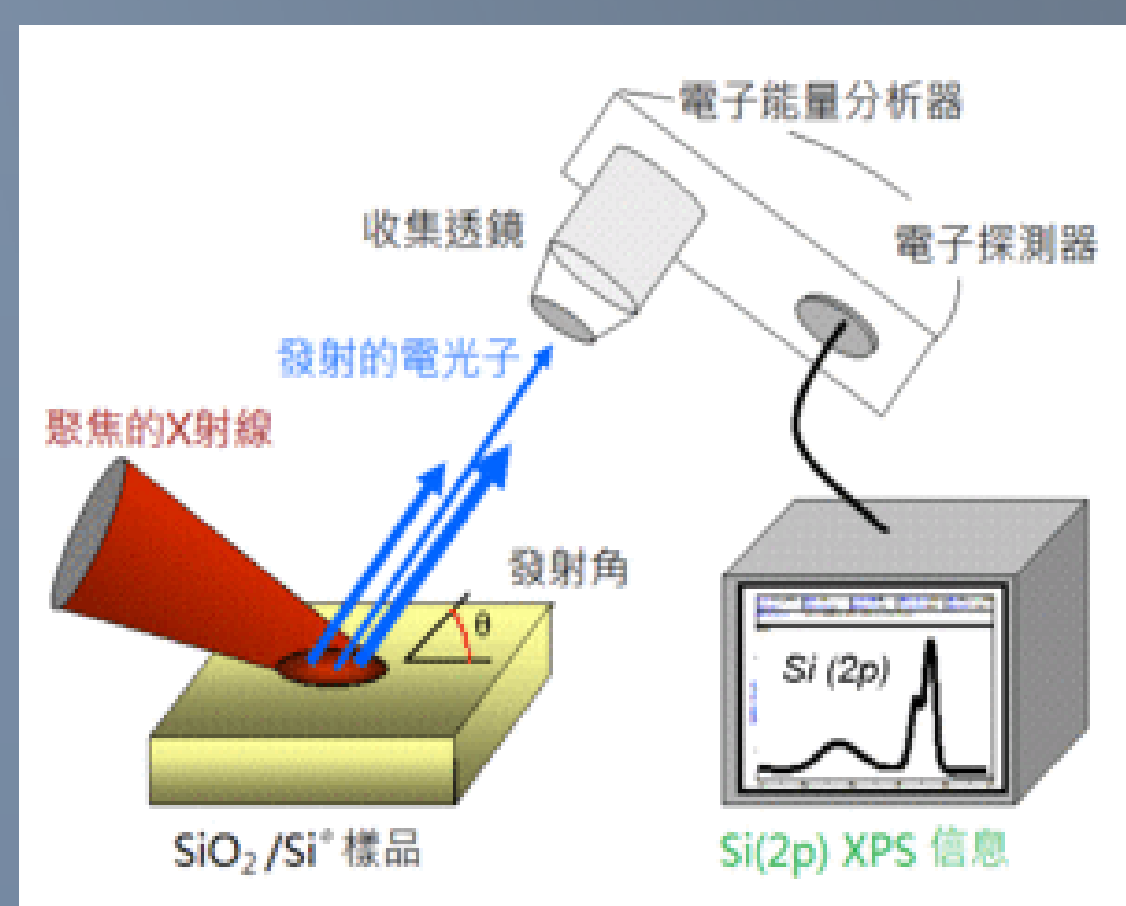
一、自製超級電容

將奈米碳管(CNT)、聚苯胺(PANI)、無水萜品醇(Terpineol)、乙基纖維素#46070、#46080等充分混合，塗布於經電漿處理碳布上。再塗布含硫酸之聚乙烯醇凝膠態電解液，組裝成超級電容。



二、材料性質測量與分析

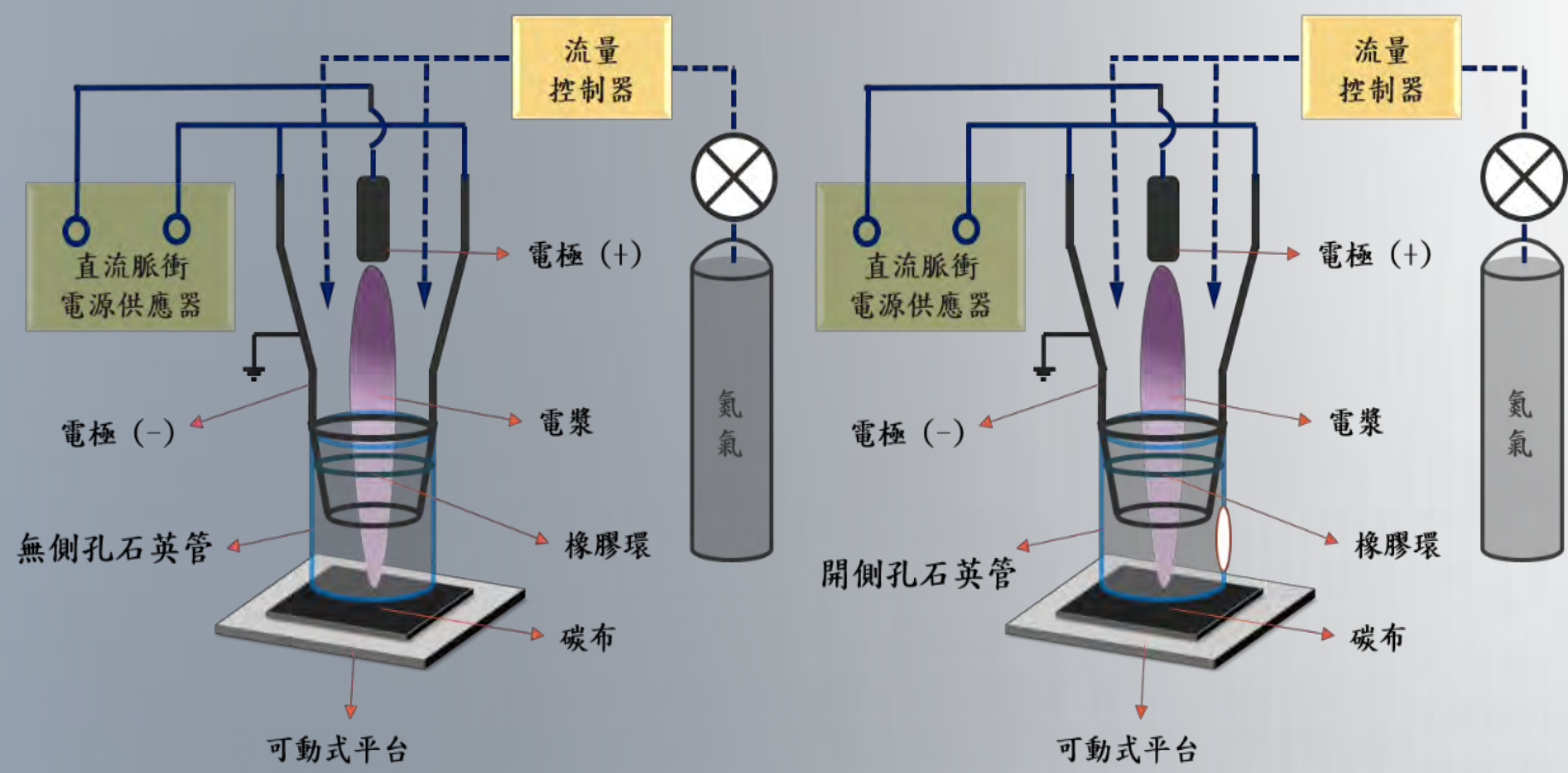
- (一) 電子顯微鏡形貌觀察(SEM)
- (二) X射線光電子能譜分析(XPS)
- (三) 水接觸角測量(WCA)
- (四) 軟性超級電容彎曲下放電
- (五) 三極法電容介面阻抗量測(EIS)
- (六) 二極法定電流充放電電容值量測(GCD)



研究結果與討論

一、常壓噴射電漿

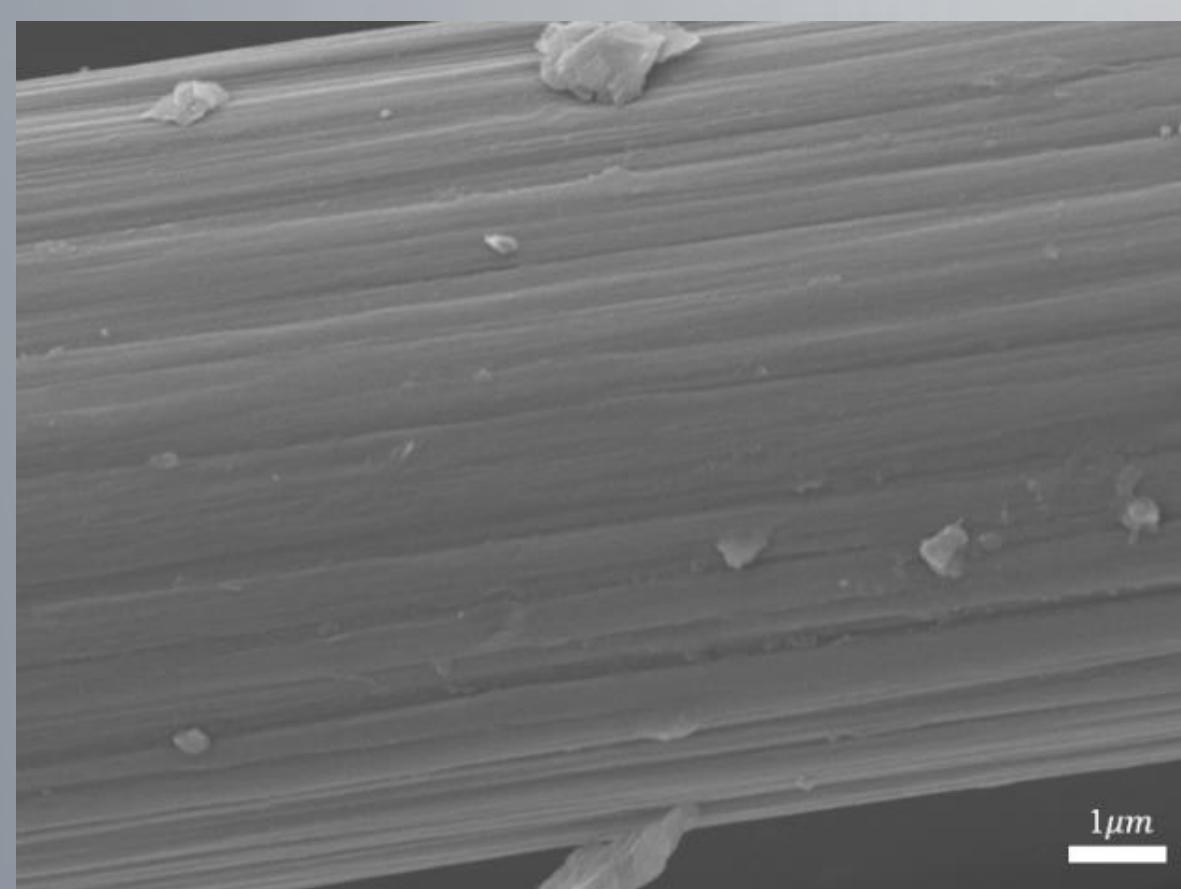
圖為電弧式常壓噴射電漿示意圖。先前研究在電漿下游設置一石英管，其與下方碳布間格約1 mm，本研究增加以開側孔之方式引入環境空氣參與反應。試片置於電動移動平台，可進行掃描，處理較大之試片。本實驗主要使用氮氣做為電漿氣體。激發電源為直流脈衝型式。



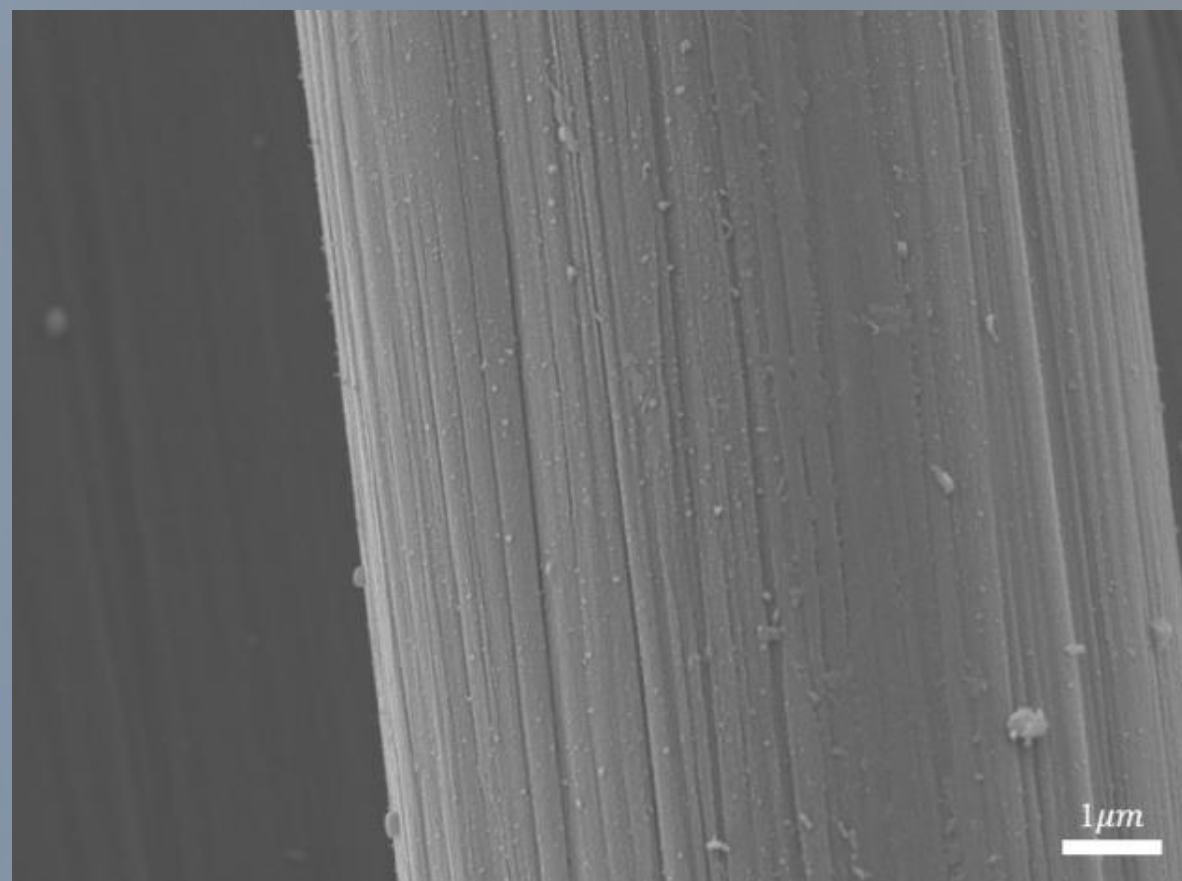
圖：常壓噴射電漿設備示意圖

二、電子顯微鏡照片(SEM)

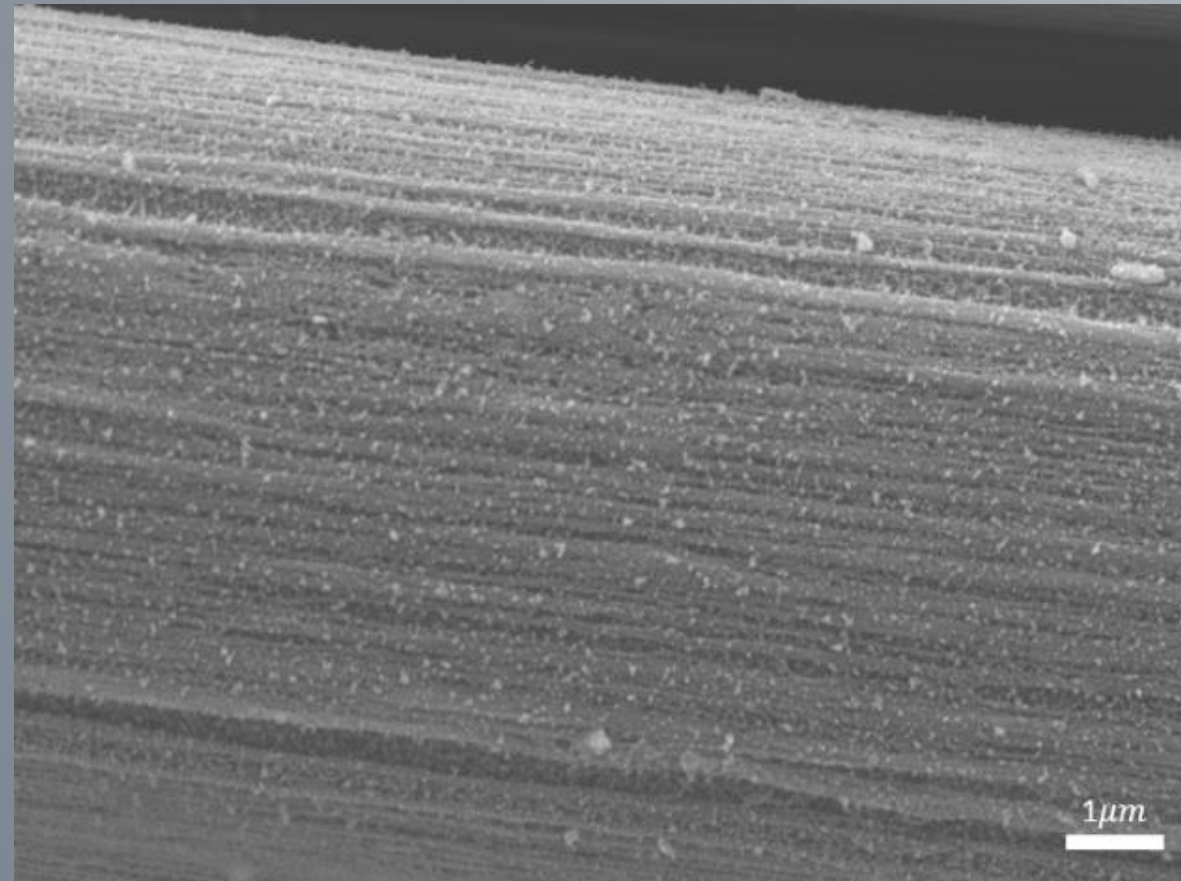
下圖為碳布碳纖維之電子顯微鏡照片。無開側孔處理之碳纖維表面較平滑，常壓電漿處理後有白點產生，有開側孔的實驗條件比無開側孔的條件更為明顯，此白點之成分組成仍不清楚，需待以後進一步以其他方式分析。



圖：無電漿處理



圖：無側孔電漿處理



圖：開側孔電漿處理

三、X射線光電子能譜學(XPS)

下圖為X光電子寬掃描(wide scan)能譜圖。可以看出氮氣常壓電漿處理後有氮摻雜現象發生，同時氧含量上升。有開側孔條件下的氧化量更為顯著，代表環境中的氧參與反應。

圖：X光電子寬掃描(wide scan)能譜圖

四、XPS碳、氮、氧成分分析

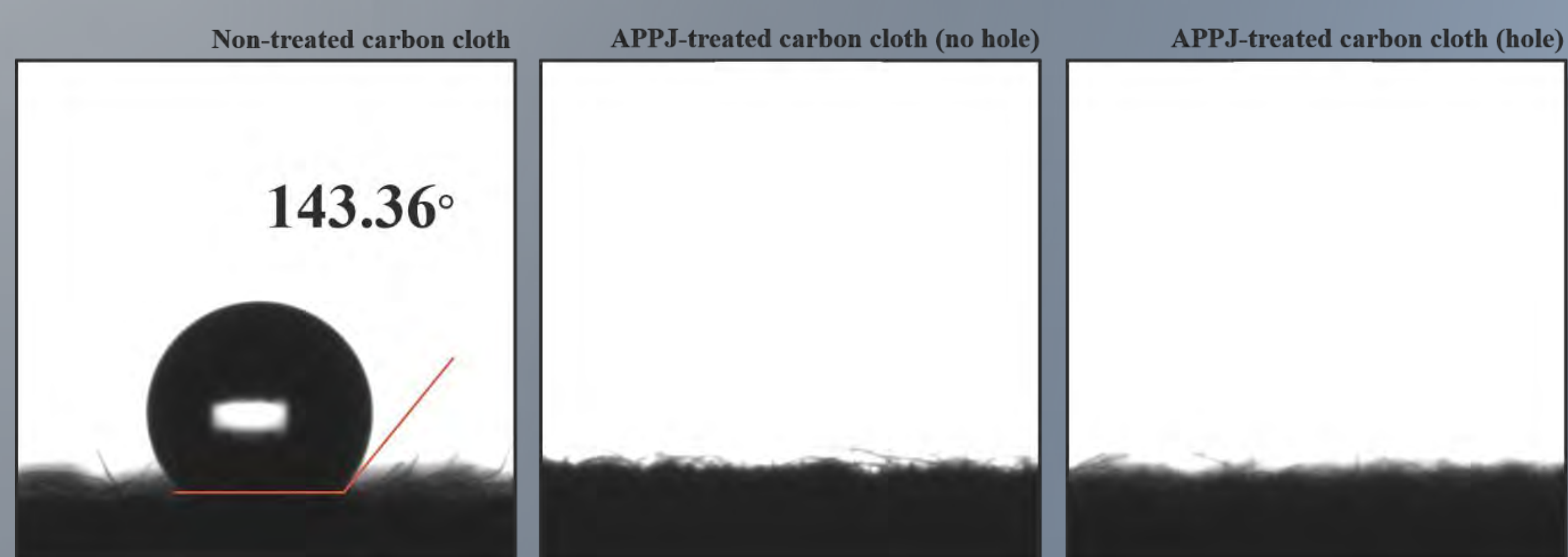
下表為根據X光能譜圖所做的碳氧氮成分分析，可看出碳比例常壓電漿處理後碳成分由95.83%下降至73.16%，而在開側孔的條件下碳含量只有約55.8%。未處理的碳布沒有氮的訊號，常壓電漿處理後，氮的含量約5%左右。氧含量則由4.17%上升至21.71%(無側孔)，有開側孔的氧含量更提升到39.70%。一般親水含氧官能基及氮摻雜均會增加碳材親水性，此可在後面的水接觸角實驗得到驗證。

| Atomic ratio (%) | Non-treated carbon cloth | APPJ-treated carbon cloth (no hole) | APPJ-treated carbon cloth (hole) |
|------------------|--------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| C | 95.83 | 73.16 | 55.80 |
| N | 0 | 5.13 | 4.50 |
| O | 4.17 | 21.71 | 39.70 |

表5-1 碳、氧、氮成分分析

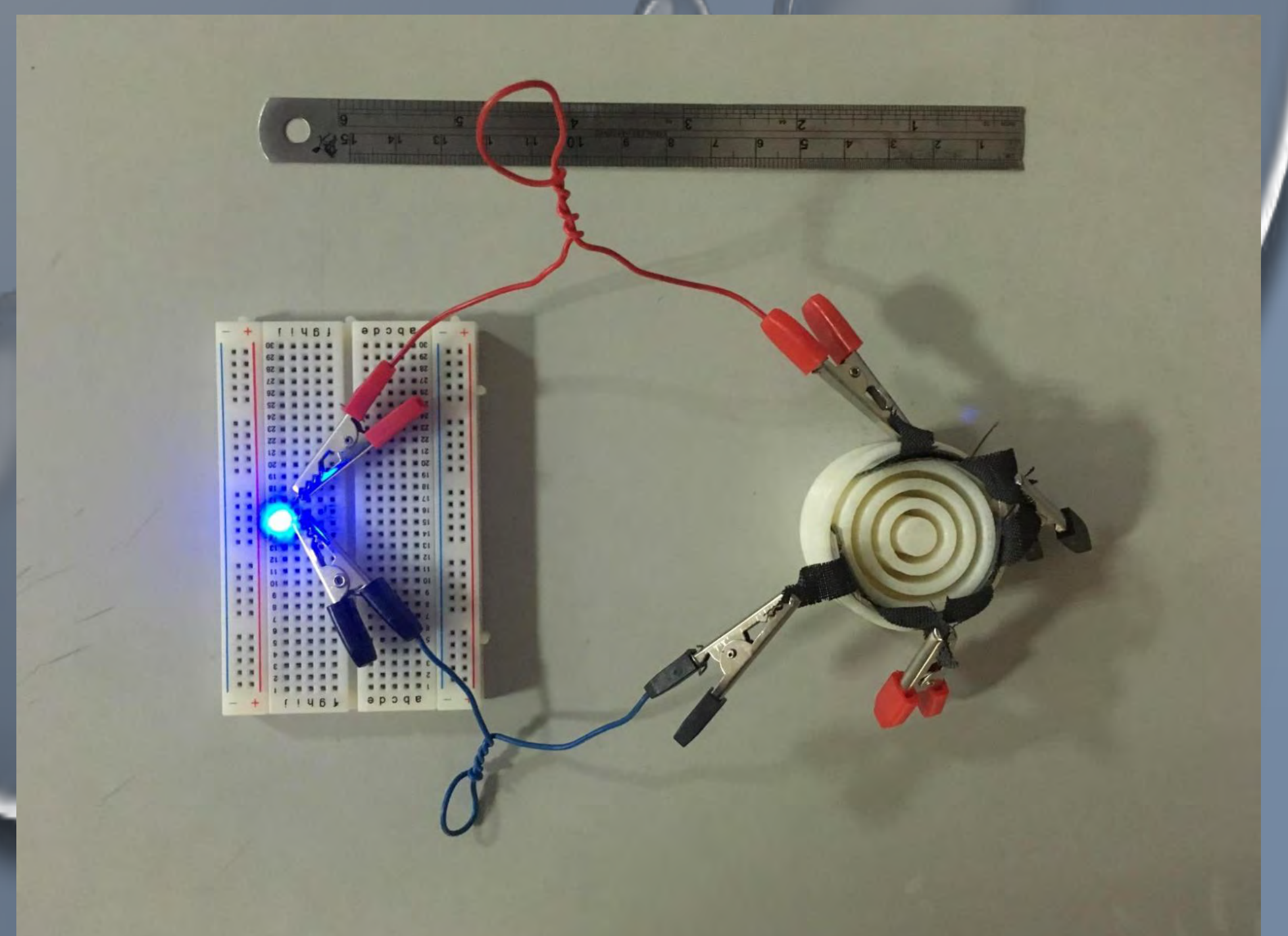
五、水接觸角

下圖為水接觸角實驗結果。未處理之碳布具有相當大之水接觸角($\sim 143^\circ$)，為疏水表面，常壓電漿處理後，水滴整個滲入碳布，呈親水狀態，此一親水狀態能有利於碳布集流電極和電解液之接觸，增加接觸面積，降低介電阻抗，因此可提升電容值。後面的定電流充放電電容值測定及電化學交流阻抗可解釋此實驗結果。



圖：水接觸角測量結果

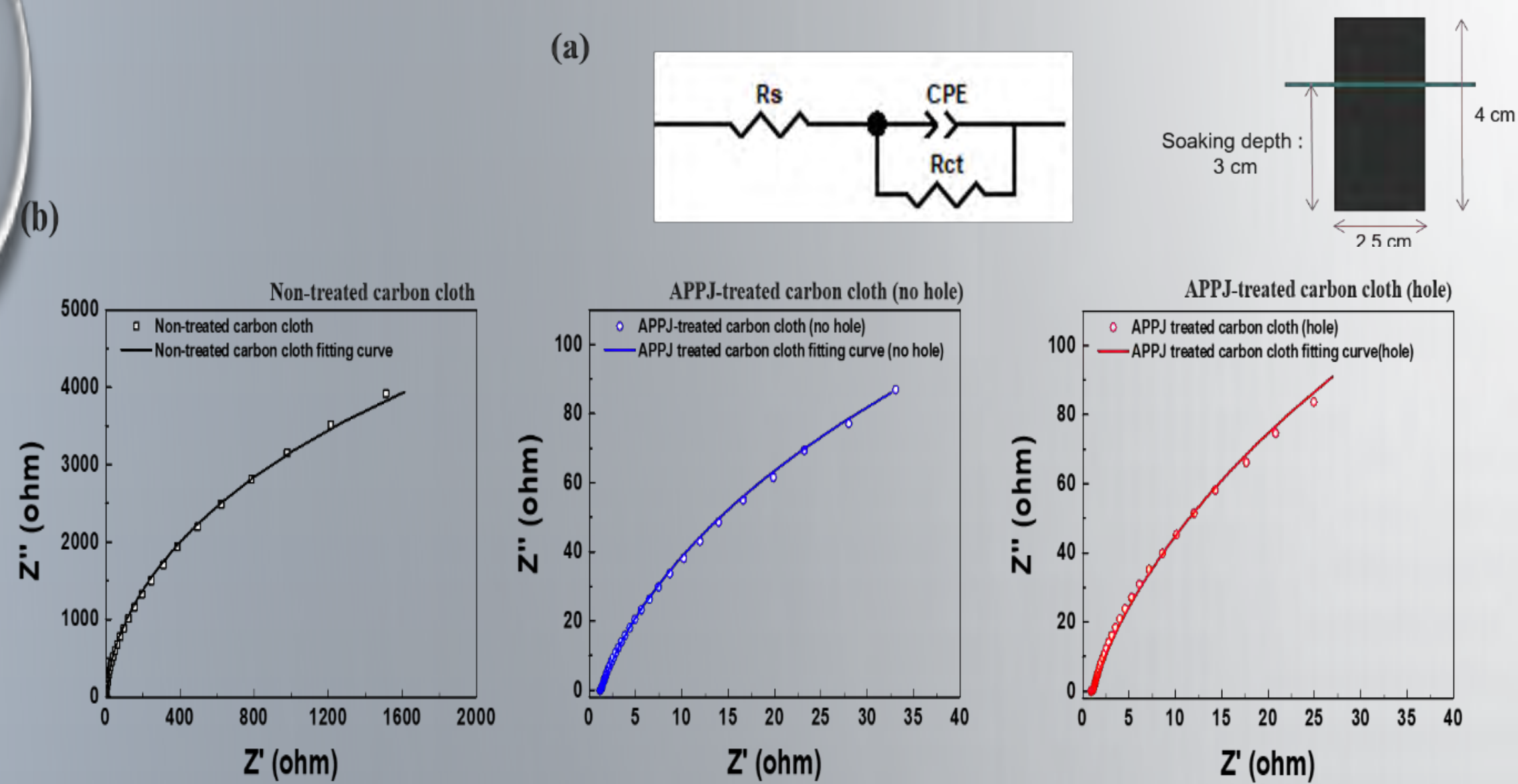
六、軟性超級電容彎曲下放電



圖：充電後之軟性超級電容可在彎曲狀態下點亮發光二極體

七、電化學交流阻抗分析(EIS)

下圖(a)為等效電路之模擬圖。下圖(b)為電化學交流阻抗分析之實驗結果。由模擬電路之擬合，所得到之電路參數如下表所示。很明顯介面電阻 R_{ct} 在未處理的條件下為 $12050\ \Omega$ ，在常壓電漿處理後下降。介面電阻的下降有利於電荷傳輸，而擬合之電容值 $CPE-T$ 也上升，這點與後面的定電流充放電的電容值測定相符。



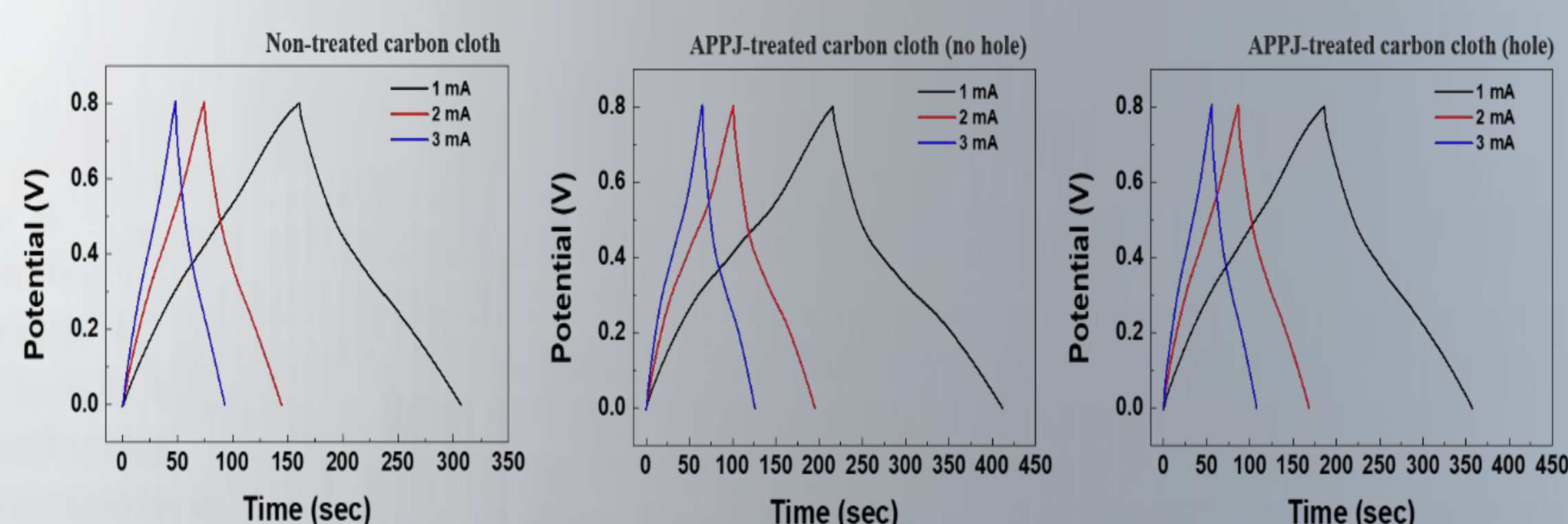
| | R_s (Ω) | R_{ct} (Ω) | CPE-T (F) | CPE-P |
|-------------------------------------|--------------------|-----------------------|-----------|---------|
| Non-treated carbon cloth | 1.253 | 12050 | 0.000344 | 0.98282 |
| APPJ treated carbon cloth (no hole) | 1.187 | 414.1 | 0.009497 | 0.91827 |
| APPJ treated carbon cloth (hole) | 0.970 | 646.5 | 0.013871 | 0.92007 |

八、定電流充放電(GCD)

$$C_A = \frac{4I \cdot T}{A \cdot \Delta V}, C_S = \frac{4I \cdot T}{m \cdot \Delta V}$$

C_A : 面積比電容 ; C_S : 比克電容
 I : 定電流值 ; T : 充/放電時間 ; ΔV : 電壓區間
 A : 兩電極巨觀面積 ; m : 兩電極活性物質質量

由結果可看出常壓電漿處理之碳布可有效提升電容值，比電容值在無開孔的條件下提升了約33%，而在有開側孔的條件下提升了約17%。開側孔實驗條件雖然造成較高的含氧量，但是對超級電容之電容值並無明顯提升效果。



| Constant Current (mA) | Non-treated carbon cloth | | APPJ treated carbon cloth (no hole) | | APPJ treated carbon cloth (hole) | |
|-----------------------|-----------------------------|-------------|-------------------------------------|-------------|----------------------------------|-------------|
| | C_A (mF/cm ²) | C_S (F/g) | C_A (mF/cm ²) | C_S (F/g) | C_A (mF/cm ²) | C_S (F/g) |
| 1 | 122.5 | 335.6 | 163.3 | 433.6 | 143.3 | 425.8 |
| 2 | 116.7 | 319.6 | 158.3 | 420.3 | 140.0 | 415.9 |
| 3 | 110 | 301.4 | 152.5 | 404.8 | 132.5 | 393.6 |

結論

一、常壓電漿處理使碳纖維表面產生含氧官能基，同時有滲氮效果，大幅改善碳布親水性。空氣冷淬處理下的碳布具較高量的含氧官能基，即空氣中的氧氣有效參與反應。高親水性碳布電極可增加和電解液接觸面積，降低介面阻抗，增加電容值。

二、雖然空氣冷淬之實驗條件可使碳纖維含氧官能基含量大幅上升，但並未有效提升電容值。推測原因為：

(一)無空氣冷淬處理下碳布含氧量及親水性已大幅提升，引入空氣後，碳布的含氧量雖上升，親水性仍與無空氣冷淬之情形相當。

(二)凝膠電解液和電極的接觸面積並無進一步提升，反應已達飽和。

三、技術應用：

親水碳材未來可進一步應用於液流電池、微生物燃料電池、太陽能電池、超級電容、電池等，解決今日能源儲存議題。此製程技術及成品亦可望運用於運動員球衣、護具、醫院病患服、穿戴式裝置等結合IoT之生活應用層面。

四、未來展望：

(一)未來可調控氧氣或空氣的在電漿下游的參與程度，以控制調節常壓電漿的氧化性質及反應性，並應用在其他材料的反應或製程上。

(二)可進一步調控由側孔引入之氧含量或氣體。

(三)目前發現氮氣常壓電漿對碳材反應劇烈且快速，對一些金屬氧化物也有顯著的改質效果，可用於一般的電子元件介面改質製程。

參考資料

一、Shih-Hang Chang et al., Feasibility study of surface-modified carbon cloth electrodes using atmospheric pressure plasma jets for microbial fuel cells, Journal of Power Sources, 336 (2016) pp.99-106.

二、Hung-Hua Chien et al., Improved performance of polyaniline/reduced-graphene-oxide supercapacitor using atmospheric-pressure-plasma-jet surface treatment of carbon cloth, Electrochimica Acta, 260 (2018) pp.391-399

三、Zhiyong Gao et al., Graphene incorporated, N doped activated carbon as catalytic electrode in redox active electrolyte mediated supercapacitor, Journal of Power Sources, 337 (2017) pp.25-35.

四、Changshui Wang et al., Activated carbon materials derived from liquefied bark-phenol formaldehyde resins for high performance supercapacitors, RSC Advances, 2016, 6, 105540.

五、Wikipedia - X-ray photoelectron spectroscopy : https://en.wikipedia.org/wiki/X-ray_photoelectron_spectroscopy