

# 中華民國第 60 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

科 別：生活與應用科學科(二)環保與民生

組 別：國中組

作品名稱：「石」來運轉，神奇「墨」測

- 利用廢乾電池製成石墨烯口罩及其 PM2.5、甲醛去除效率探討  
與應用

關鍵詞：石墨烯、PM2.5、去除率

編號：

## 摘要

本研究利用廢乾電池中碳棒製成石墨烯，並探討去除 PM2.5 及甲醛最佳條件，最後成功應用於生活中製成多效合一的口罩。研究發現:①電壓愈高石墨烯生成量愈高、粒徑大小與工作電壓呈負相關、1.5M 硫酸為最佳電解液②石墨烯、氧化石墨烯去除粒狀污染物 PM2.5 及 PM10 效應均優於活性炭，可取代傳統吸附劑③擴散吸附實驗中氧化石墨烯對甲醛去除率 83.89% ④石墨烯:氧化石墨烯=1.5:1 為最佳混合比例⑤呼吸箱模擬測試石墨烯-氧化石墨烯口罩濾片對 PM2.5 去除率，91.32%；甲醛去除率，92.06%效果良好⑥自製口罩滙集環保、健康、效能於一身。展望未來:為了永續生存，石墨烯口罩濾片及口罩應繼續開發研究，讓它能推廣使用，使台灣以環保著稱，成為名符其實的福爾摩沙，讓民眾更健康。

### (一)研究動機

**動機一:**新聞說大陸霾害南下，影響懸浮粒子的濃度，造成空氣品質惡化、影響民眾健康，那我們該如何防護 PM2.5 對人體危害？

**動機二:**專家說含活性炭口罩，活性炭作用是除臭，僅能阻隔約 3 成的 PM2.5，N95 的防護力最強，可達 90%以上，但太過密合了，常常讓民眾呼吸困難、「戴不住」而且費用昂貴，那應該怎麼辦呢?為了保護臺灣人的肺，我們決定研發一個新的口罩材質，保護肺部與荷包。

**動機三:**新聞報導每年廢乾電池回收率僅達 36.9%，仍有高達 5,669 公噸的廢乾電池未妥善處理，造成嚴重的廢棄物汙染。我們想到國中理化課本有提到電解方法及吸附沉降的相關概念，因此，我們整合了這些疑問和概念，希望能透過這項研究找出利用回收廢乾電池再利用製成快速、方便、對環境友善又環保的淨化空氣口罩，一次解決兩個環境問題。我們將以「廢乾電池」及製成石墨烯為研究主軸，並研究製成石墨烯口罩，找出濾除 PM2.5 的最佳方法。

**動機四:**COVID-19(新冠肺炎)肆虐，人人紛紛搶購醫用口罩，為求避免感染病毒。活性炭口罩適用過濾氣體汙染物、醫用口罩雖然可以過濾飛沫病毒，但兩者均不易過濾 PM2.5，本實驗決定研發一個新的口罩材質，結合將石墨烯當內層+醫用口罩不織布當外層製成口罩濾片及口罩，可以解決活性炭與醫用口罩過濾 PM2.5 的不足，同時能三效過濾(1)PM2.5 (2)有機氣體(甲醛) (3)飛沫病毒，畢其功於一役，啟不妙哉!

## (二)研究與教材相關性

1.本研究結合自然與生活科技(一)康軒版:

科學方法:(1)觀察(2)提出問題 (3)參考文獻(4)提出假說 (5)實踐設計 (6)分析結果 (7)結論。

2. 自然與生活科技(三) 康軒版 第三章 物質分離。

3. 自然與生活科技(四) 康軒版 第一章 化學反應種類 第五章 有機化合物。

4. 自然與生活科技(六) 康軒版 第一章 電池、電解。

## 壹、 研究目的

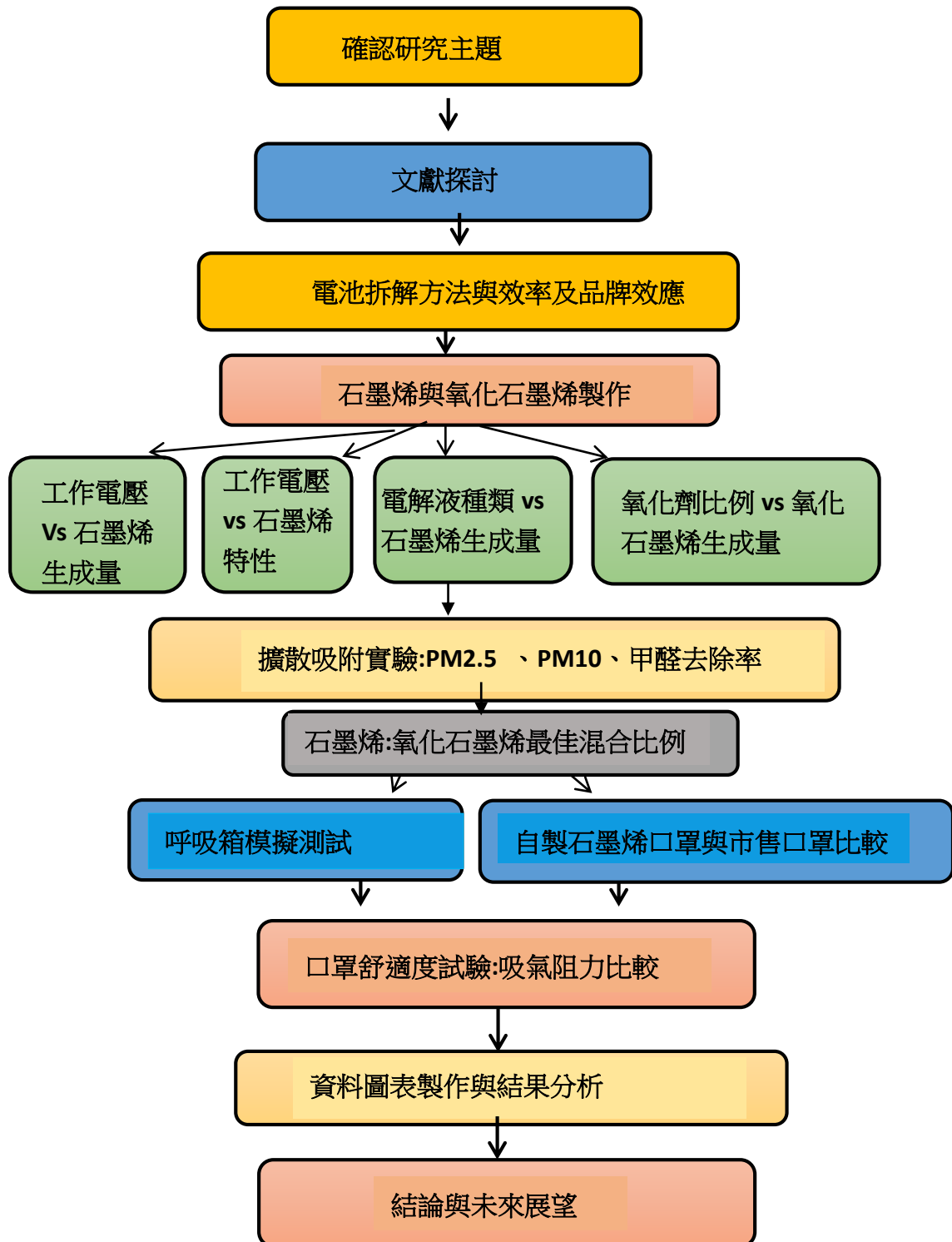
### ●目的:

- 一、探討電池拆解方法與效率及品牌效應
- 二、探討工作電壓與石墨烯生成量效應
- 三、探討不同工作電壓對生成石墨烯特性效應
- 四、探討電解液種類對石墨烯生成量效應
- 五、探討氧化劑比例對石墨烯氧化成氧化石墨烯效應
- 六、探討擴散吸附實驗-測量石墨烯及氧化石墨烯去除粒狀污染物 PM2.5 及 PM10 效應
- 七、探討擴散吸附實驗-測量石墨烯及氧化石墨烯去除氣狀污染物甲醛的去除效應
- 八、探討石墨烯-氧化石墨烯去除 PM2.5 及甲醛最佳混合比例效應
- 九、呼吸箱模擬測試自製石墨烯口罩濾片對 PM2.5、甲醛去除效應
- 十、自製石墨烯-氧化石墨烯濾片口罩與市售口罩對 PM2.5 及甲醛去除效應比較
- 十一、口罩舒適度試驗-吸氣阻力比較

### ●特色:

- 1.環保性:①「天然高比表面積」石墨烯吸附劑取代傳統活性炭吸附劑。  
②電池回收具有環保再利用特性。
- 2.雙效性:①研究兼具物理性吸附與化學性吸附。  
②同時探討 PM2.5、有機物甲醛吸附效應。
- 3.創新性:①呼吸箱模擬測試石墨烯口罩濾片對 PM2.5 及甲醛去除效應。  
②口罩舒適度:呼吸抵抗力試驗。
- 4.實用性:① 製作石墨烯-氧化石墨烯口罩濾片適用於任何口罩。  
②三效合一:過濾吸附 (1)PM2.5 (2)甲醛 (3)飛沫病毒。  
③同時滙集環保、健康、效能於一身的好口罩。

●研究流程架構圖



## 叁、文獻探討

### 一、石墨烯文獻回顧

- (1)歷史: 最早在 2004 年科學家海姆及諾沃肖洛夫在碳上面分離出了石墨烯(graphene)是屬於碳的另外一種形態，是一種新興的材料。我們在理化課程有學到「同素異形體」例如:鑽石、石墨、碳 60 富勒烯。石墨烯它是從碳分離出來的另一種同素異形體。
- (2)結構: 石墨烯 (Graphene) 是一種由碳原子六角型蜂巢晶格組成的平面薄膜，只有一個碳原子厚度的二維平面性材料。每個碳原子與相鄰的三個碳原子形成鍵結，以此延伸成蜂窩狀的二維結構。石墨烯的命名來自英文的 graphite (石墨) + -ene (烯類結尾)。
- (3)特性: 石墨烯目前是世上最薄卻也是最堅硬的奈米材料(Lee, C. et al., 2008)，它幾乎是完全透明的，只吸收 2.3%的光，導熱系數高達 5300 W/m·K，高於鑽石，而電阻率只約  $10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$ ，比銅或銀更低，為目前世上電阻率最小的材料(洪偉修，2010)。

### 二、石墨烯及氧化石墨烯製作方法

石墨烯它是如何製作呢?我們閱讀相關報告整理出(傅 2013，梁 2014)，石墨烯製作方法並比較其優缺點如下:

#### (一)石墨烯製作方法及優缺點比較

石墨烯製作	研發者	方法簡介	優缺點
機械剝離/撕膠帶法	吉姆	將高熱解石墨，使用膠帶反覆黏貼，膠帶撕開時，石墨剝離成薄的石墨片	優點:品質佳 缺點:面積小，產率低
氣相沉積法	羅丹尼	高溫真空腔，加熱單晶碳化矽，鎳箔當觸媒，通入氫氣進行化學反應，磊晶產生石墨烯晶體	優點: 產量中等 缺點: 技術困難、成本高、品質控制上較為困難
化學氧化法	悍馬	第一階段:將石墨粉 1g 加入 50mL 飽和濃硝酸氧化並以 0°C 恆溫水浴反應 40 分鐘，改以 35°C 恆溫水浴反應 40 分鐘。第二階段再分別以氧化劑硝酸鈉 1 g、過錳酸鉀 3.5g 將石墨粉進行高溫 95°C 氧化恆溫水浴反應 40 分鐘，形成氧化石墨烯。第三階段以 10%鹽酸清洗，最後硼氫化鈉、聯胺還原成石墨烯。	優點: 製作簡單、產率高 缺點:使用大量化學試劑，危險度高，成本高，需要嚴格溫控及還原程序
電化學剝離法	雪梨科技大學 王國秀教授	將使用石墨電極電解，陽極剝落，形成石墨烯碎片於電解液中，過濾以離心純化，獲得石墨烯	優點:低成本、簡單、快速

本研究將採用電化學剝離法

理由: (1)低成本、簡單、快速

(2)結合所學知識，國中理化課程 自然與生活科技(六) 第一章 電流化學效應-電解。

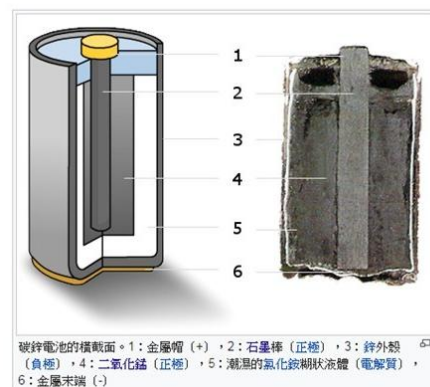
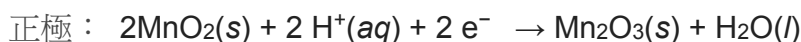
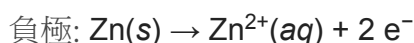
(二)氧化石墨烯製作方法

氧化石墨烯製作	研發者	材料	方法簡介	優缺點
化學氧化法	悍馬	石墨→製作成氧化石墨烯	(1)將石墨粉 1g 加入 50mL 飽和濃硝酸氧化並以 0°C 恆溫水浴反應 50 分鐘，(2)改以 35°C 恆溫水浴反應 50 分鐘，(3)以氧化劑硝酸鈉 1 g、過錳酸鉀 3.5g 將石墨粉進行高溫 95°C 氧化恆溫水浴反應 50 分鐘，形成氧化石墨烯，第三階段以 10%鹽酸清洗，烘乾	優點: 製作簡單、產率高 缺點:使用大量化學試劑，危險度高，成本高，反應時間長。
本研究	修正悍馬方法	石墨烯→製作成氧化石墨烯	(1)以重量比 1:1:2:之比例，將 1g 石墨烯粉與 1g 硫酸及 1g 次氯酸鈉混合，加水至 100mL。 (2)加熱攪 40 度，100 rpm 1hr。 (3).蒸餾水沖洗 10 次。 (4) 60°C 的烘箱中烘乾。	優點:減少化學試劑、減少溫控複雜性，使用國中課程常用強氧化劑。

### 三、乾電池的構造及反應機制

(1)構造

(2) 反應式:



破鈔電池的橫切面。1: 金屬帽 (+), 2: 石墨棒 (正極), 3: 鋅外殼 (負極), 4: 二氧化錳 (正極), 5: 糊狀的氯化銨糊狀液體 (電解質), 6: 金屬末端 (-)

### 四、吸附或化學吸附原理

吸附是指某種氣體，液體或者固體或是分子附著在某表面上。這一過程使得表面上產生由吸附物構成的膜。吸附作用可以區分為物理性吸附及化學性吸附。

	物理性吸附	化學性吸附
吸附力	靜電力 凡德瓦力	化學鍵
吸附子層	多層	單層
吸附選擇性	無	有
吸附速率	快	略慢
吸附穩定性	不穩定	穩定
吸附溫度	低	高
吸附活化能	小	大

化學吸附是由分子間的化學反應所導致的吸附作用，過程中可能發生電子轉移、原子重排、化學鍵的破壞與形成等過程，以離子結合最受重視，其有明顯的選擇性，作用力為化學鍵力，只能單層吸附，且吸附和脫附速度都較慢，不易達到吸附。

## 五、PM2.5

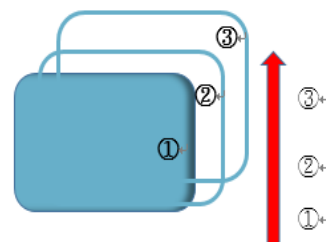
漂浮在空氣中類似灰塵的粒狀物稱為懸浮微粒(particulate matter, PM)，PM 粒徑大小有別，空氣中的懸浮微粒會經由鼻、咽和喉進入人體，小於或等於 2.5 微米( $\mu\text{m}$ )的粒子，就稱為 PM2.5，通稱細懸浮微粒，非常微細可穿透肺部氣泡，並直接進入血管中隨著血液循環全身，故對人體及生態所造成之影響是不容忽視的。PM2.5 對於健康造成影響，包括：支氣管炎、氣喘、心血管疾病、肺癌等，無論長期或短期暴露在空氣污染物的環境之下，皆會提高呼吸道疾病及死亡之風險。

## 六、甲醛

甲醛（英語：Formaldehyde），化學式 HCHO。無色的刺激性氣體，對人眼、鼻等有刺激作用，是最常見是內汙染物之一。體積百分比 40%的甲醛水溶液稱 100%福馬林(Formalin)。它主要用於生產工業樹脂，例如刨花板和塗料。1996 年甲醛的每年生產量為約 870 萬噸。2011 年美國國家毒理學計劃描述甲醛為「已知人類致癌物」。

## 七、口罩

1. 棉布口罩：功能在於避免吸入灰塵或將飛沫噴出，對 PM2.5 阻隔效果微弱。  
適合：買不到外科口罩時，或是騎機車時擋風、擋灰塵、保暖使用。
2. 活性炭口罩：增加了活性炭層可吸附有機氣體，而且過濾層纖維孔隙小於棉布口罩，所以可以吸附附汽機車所排放的有機溶劑。活性炭口罩口孔隙大( $>10\ \mu\text{m}$ )對於 PM2.5 阻隔效果不佳。  
適合：用於清潔、噴漆等有刺激氣味的工作場合。
3. 醫用/外科口罩：構造分成三層(如右圖)：外層防波濺、中層具過濾作用，內層可吸濕氣，並對於  $6\ \mu\text{m}$  以上微粒或是細菌病毒飛沫有 90%阻隔效果，但對 PM2.5 及有機氣體阻隔效果薄弱。
  - ① 外層:聚丙烯(PP)不織布，具有防潑水功能。
  - ② 中層:熔噴不織布，透過熔噴結網技術，使得口罩能過濾細菌。
  - ③ 內層:聚丙烯(PP)/聚乙烯(PE)不織布表面親水處理，使肌膚接觸舒適。適合：用於感冒時進出不通風場所，如診所、醫院、電影院等。



4. N95 口罩：N 是指非油性場合中使用，能過濾微塵 95%以上。中間凸起成杯狀，與口鼻吻合。對阻隔懸浮粒子及病菌病毒有幫助，但缺點為阻隔化學或有毒氣體效率差，不適用肺功能不佳者。(劉宣良 2003，陳春萬 2008，維基 2020)  
適合：特殊場合，像是醫護人員、化工廠員工、空氣極差環境等。

















### 七、淨化空氣相關文獻整理

篇名	吸附劑	結果	評論
果然罩得住 (陳 2016)	果皮濾心	比活性炭口罩效果較差。	可過濾大顆粒粉塵，無法過濾 PM10 及 PM2.5。
隱形殺手-PM2.5 (李 2016)	市售口罩	PM2.5 資料分析，口罩對 PM2.5 過濾效果評估。	市售口罩單純擴散實驗無模擬呼吸，無自製口罩。

### 肆、研究藥品器材

(1)藥品及材料: 硫酸、次氯酸鈉、氫氧化鈉、氯化鈉、活性炭粉(270mesh)、石墨粉(200mesh)、1 號廢乾電池、廢電池石墨棒、銅片電極。

(2)器材與儀器:

					
顯微鏡	空氣品質偵測儀	粒徑分析篩	電子磅秤	高溫烤箱	電腦顯微鏡
					
醫用口罩	活性炭口罩	布口罩	兒童醫用口罩	N95 口罩	電源供應器
					
不織布濾片	濾紙	電子拉力計	彈簧拉力計	熱融膠槍	比表面積儀



## 伍、研究過程

### 一、蒐集資料：

- (1) 用電腦網路收集石墨烯特性與製作等相關資料
- (2) 參考相關文獻資料說明

### 二、比較石墨烯與活性炭的特性

石墨烯	活性炭
(1) 由碳原子六角型蜂巢晶格組成的平面薄膜，只有一個碳原子厚度的二維平面性材料。每個碳原子與相鄰的三個碳原子形成鍵結，延伸成蜂窩狀平面結構。 (2) 高比表面積具較強吸附特性，對粒狀與氣狀汙染物均有吸附能力。	(1) 黑色，孔隙大，對有機物有較強的吸附力。吸附力受孔徑和極性和分子大小影響。 (2) 對有機物如苯、酚類化合物具有較強的吸附能力。對粒狀粉塵吸附能力較弱。

### 三、廢乾電池拆解方法

本實驗參考相關文獻(辛 2019)修正後拆解步驟如下:

- 1：用尖嘴鉗將電池外殼的鐵皮上端拔開接縫處，再以旋轉的方法將鐵皮裁下。
- 2：裁下鐵皮外殼後，從底部將電池推出。
- 3：撕開保護膜，打開上層絕緣塑膠上殼。
- 4：將內部的電解質挖出來部分，然後用鉗子將碳棒夾出。
- 5：碳棒用水清洗乾淨後即可廢物再利用，製作石墨烯，正極電極棒。

其他部分: 鋅殼可用於國中鋅銅電池實驗，氯化銨可用於電解質實驗，二氧化錳可用於氧氣製造實驗，皆可以充分的再利用。不但節省經費，也能達到環保再利用的要求。

1.回收	2.拆側面	3.去外殼	4.拆上蓋	5.去電解質	6.取石墨棒
					

### 四、石墨烯製作實驗

本研究電化學剝離法(電解法)製作石墨烯參考相關文獻，修正如下:

1. 用鱷魚夾，夾住回收石墨棒，並接在直流電源供應器(或 1 號電池)的正極。負極則使用材料為銅片。
2. 使用 1.5M 硫酸(或氫氧化鈉或氯化鈉)溶液做為電解液。
3. 供應直流電，利用不同電壓進行電解 8 小時。
4. 將電解剝落於燒杯底部的石墨烯，以清水清洗，並經由離心過濾收集。
5. 將離心後的石墨烯放入 中溫 60°C 的烘箱中烘乾 8 小時。

6. 進行:電源電壓與石墨烯生成量效應實驗。
7. 利用顯微鏡及粒徑分析篩，進行不同工作電壓對生成石墨烯生成量效應實驗。
8. 使用不同電解液，進行電解液種類對石墨烯生成量效應實驗。
9. 使用強酸(濃硫酸)及氧化劑(次氯酸鈉)製作氧化石墨烯。
10. 探討氧化劑比例對石墨烯氧化成氧化石墨烯效應

## 五、比表面積測量

原理: 利用固定量的空氣通過一定空隙率和厚度的樣本層，所受阻力不同而引起流速的變化並與標準品比較來測定樣本的比表面積(m<sup>2</sup>/g)。

1. 金屬筒內放入穿孔板，放置一片圓形濾紙於穿孔板上，秤取 0.1g 石墨烯粉放入測量儀器金屬筒內。使用固定重量金屬壓平器將粉末壓平，在放上一片圓形濾紙。
2. 壓力計裝上水，水量要在兩個刻度線中間。
3. 裝置樣本的金屬桶接到壓力計上。按下測量開關測量石墨烯比表面積。
4. 連續測量三次，求取平均值。

## 六、氧化石墨烯製作實驗

氧化石墨烯方法是參考文獻進行修正:

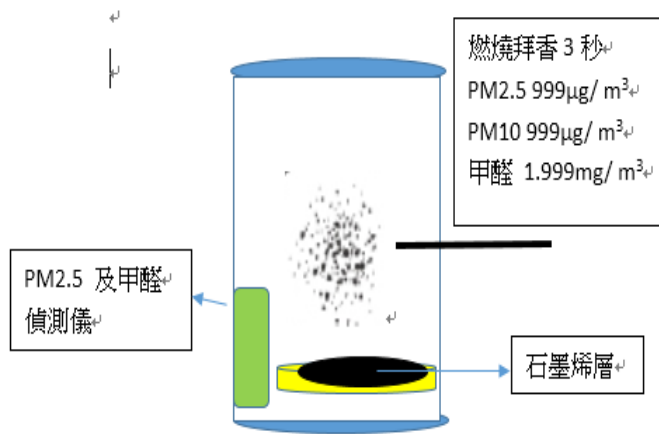
1. 以重量比 1:1:2: 之比例，將石墨烯粉與強氧化劑(硫酸)及次氯酸鈉混合，加水至 100mL。
2. 使用加熱攪拌機 40 度，100 rpm, 攪拌 1hr 進行化學反應。
3. 使用蒸餾水進行 10 次沖洗。
4. 放入 60°C 的烘箱中烘乾 8 小時。

## 七、擴散吸附實驗-吸附劑種類去除 PM2.5 、PM10 效應

1. 秤石墨烯粉 1.0g，塗布在濾紙( 孔徑 11μm，厚度 0.18mm 直徑 9cm)。
2. 將濾紙放入 6 公升的透明塑膠桶中，放入 PM2.5、PM10 測量儀。
3. 點燃拜香放入桶中 3 秒鐘，使其起使 PM2.5 達 999μg/ m<sup>3</sup>。
4. 紀錄 PM2.5 測量儀數據，時間達 18 分鐘飽和平衡狀態。
5. 重複步驟 3、4 觀察並記錄 PM10 去除效果。
6. 計算 PM2.5 及 PM10 去除率%，PM2.5 及 PM10 去除率% =  $\frac{\text{吸附前濃度} - \text{吸附後濃度}}{\text{吸附前濃度}} \times 100\%$

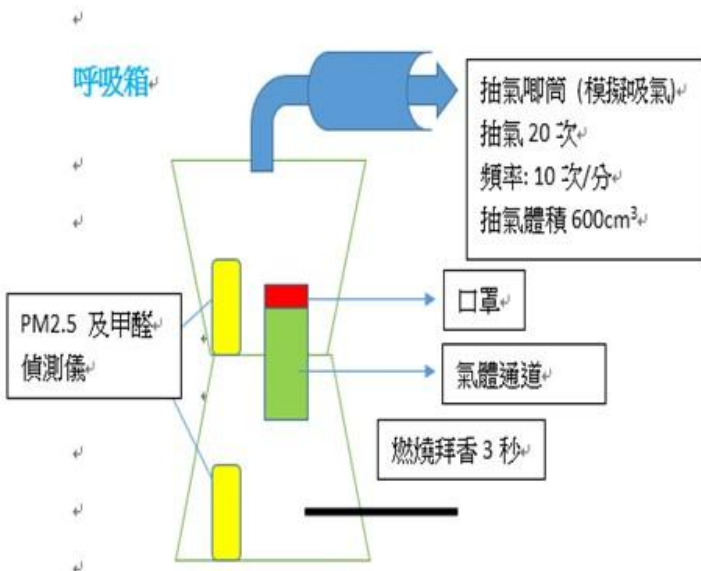
## 八、擴散吸附實驗-吸附劑種類去除甲醛效應

1. 秤取石墨烯粉 1.0g，塗布濾紙( 孔徑 11μm，厚度 0.18mm 直徑 9cm)。
2. 將濾紙放入 6 公升的透明塑膠桶中，同時放入測量儀。
3. 點燃拜香放入桶中 3 秒鐘，使其起始甲醛濃度達 1.999 mg/ m<sup>3</sup>。
4. 紀錄甲醛測量儀數據，時間達 18 分鐘
5. 計算甲醛去除率%，甲醛去除率% =  $\frac{\text{吸附前濃度} - \text{吸附後濃度}}{\text{吸附前濃度}} \times 100\%$



### 九、呼吸箱模擬測試自製石墨烯口罩濾片對 PM2.5 甲醛去除效應

1. 秤取石墨烯粉 1.5g，充填在上層(一層熔噴不織布+一層聚丙烯不織布) 下層(一層聚丙烯不織布)，使其石墨烯粉位於內層，組成四層口罩濾片。口罩材料:三層(內層:吸附劑 外層: 上層(一層熔噴不織布+一層聚丙烯不織布) 下層(一層聚丙烯不織布))。
2. 將口罩濾片放入自製呼吸箱，固定在氣體通道上，兩邊同時放入空氣品質測量儀。
3. 點燃拜香放入下層桶中 3 秒鐘，使其起始濃度 PM2.5 達 999 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。  
 甲醛起始濃度 1.990  $\text{mg}/\text{m}^3$ 。
4. 上層塑膠桶使用抽氣唧筒抽氣，模擬吸氣，抽氣 20 次，頻率 10 次/分，抽氣體積 600  $\text{cm}^3$ 。
5. 時間 2 分鐘達成平衡時，紀錄測量儀數據。
6. 計算 PM2.5、甲醛去除率%，去除率% =  $\frac{\text{通過口罩濾片前濃度} - \text{通過口罩濾片後濃度}}{\text{通過口罩前濃度}} \times 100\%$



### 十、舒適度試驗-吸氣抵抗力效應

1. 將口罩濾片放入自製呼吸箱，固定在中間氣體通道上。
2. 使用拉力計水平拉動抽氣唧筒抽氣，拉到底時測量過程中計錄拉力指數。
3. 以最大拉力為口罩呼吸抵抗力。

## 陸、結果與討論

### 實驗一、電池拆解方法與效率及品牌效應

(一)實驗假設:「拆解方法不同」、「品牌不同」對拆解完成,取得石墨棒效率會有所差異。

(二)實驗設計:

操縱變因	「拆解方法不同」、「品牌不同」
控制變因	拆解人員(相同)
應變變因	拆解完成時間(分)

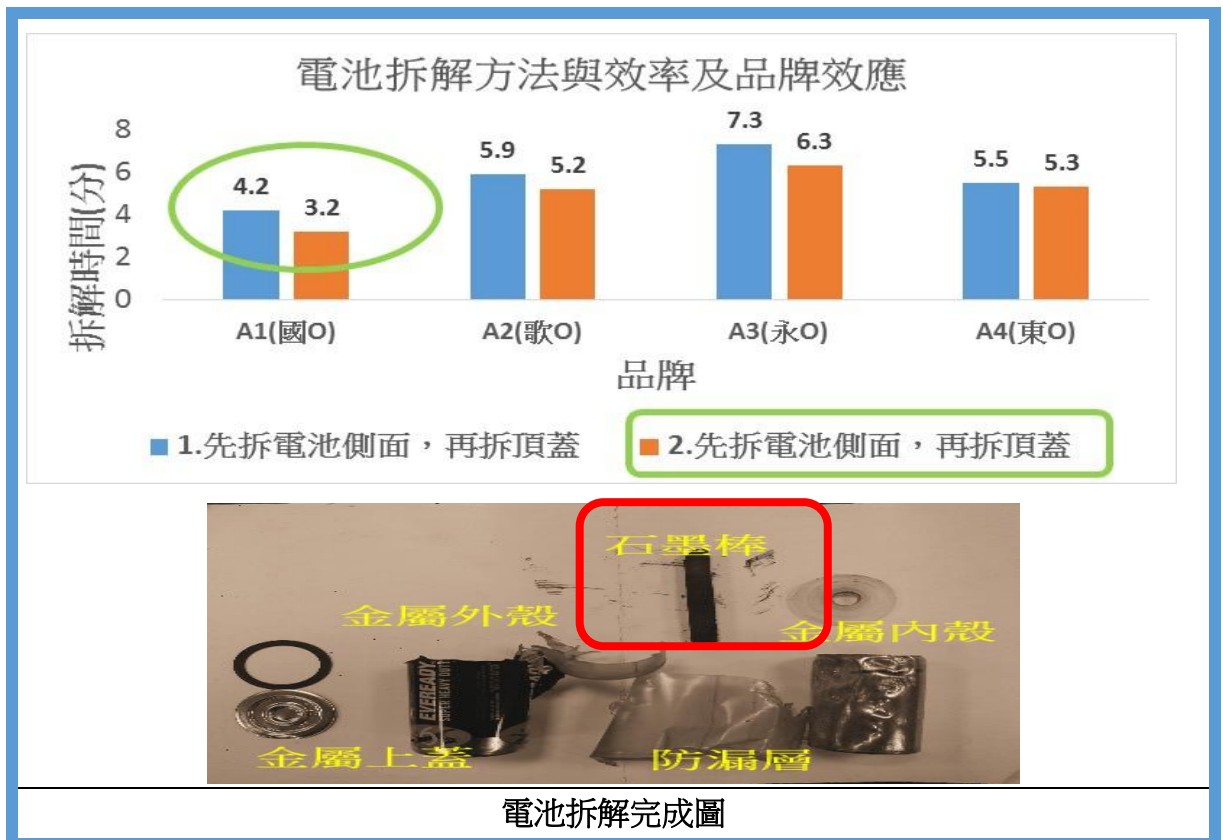
(四)結果與討論:

#### ●電池拆解方法與效率及品牌效應

拆解方法	拆解完成時間(分)															
	A1				A2				A3				A4			
	平均	平均	平均	平均	平均	平均	平均	平均	平均	平均	平均	平均	平均	平均	平均	
1.先拆電池頂蓋,再拆側面	4.3	4.2	4.1	4.2	5.9	5.9	5.8	5.9	7.0	7.1	7.2	7.3	5.4	5.4	5.6	5.5
2.先拆電池側面,再拆頂蓋	3.3	3.2	3.1	3.2	5.2	5.2	5.2	5.2	6.0	6.8	5.8	6.3	5.8	5.0	5.2	5.3

結果與討論

- 1.方法效應:電池拆解完成取得石墨棒時間趨勢:明顯地 方法2先拆電池側面,再拆頂蓋 < 方法1先拆電池頂蓋。
- 2.品牌效應,電池拆解完成取得石墨棒時間趨勢:A1(國O)<A2(歌O) <A4(東O) <A3(永O)
- 3.以方法2拆解A1的1號乾電池,平均最速時間:3.2分/個。
- 4.再現性:更換不同人員進行測試,結果趨勢相同,有一致性。
- 5.拆解方法,可作未來機械化大量拆解參考。



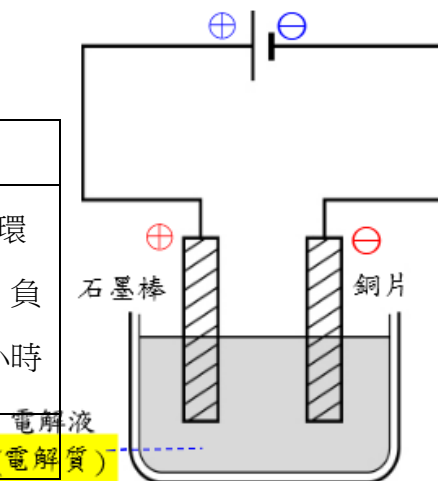
## 實驗二、工作電壓與石墨烯生成量

(一)實驗設計理念: 依據「電解原理」電解實驗時電源電壓會造成, 氧化還原速率不同。石墨烯生成量及特性差異。

(二)實驗假設: 「電壓不同」石墨烯生成量及特性會有所差異。

(三)實驗設計:

操縱變因	電壓(V, 伏特)
控制變因	相同電源: 電池 (D) : 0.6Ah、電流供應器 0.6A)、環境溫度(20°C)、正極電極(石墨棒, 長 6 ×直徑 0.7)、負極(銅片, 長 ×寬× 厚=6cm×1cm× 0.1cm) 時間 8 小時
應變變因	石墨烯生成量



(四)結果與討論:

### ● 結果:

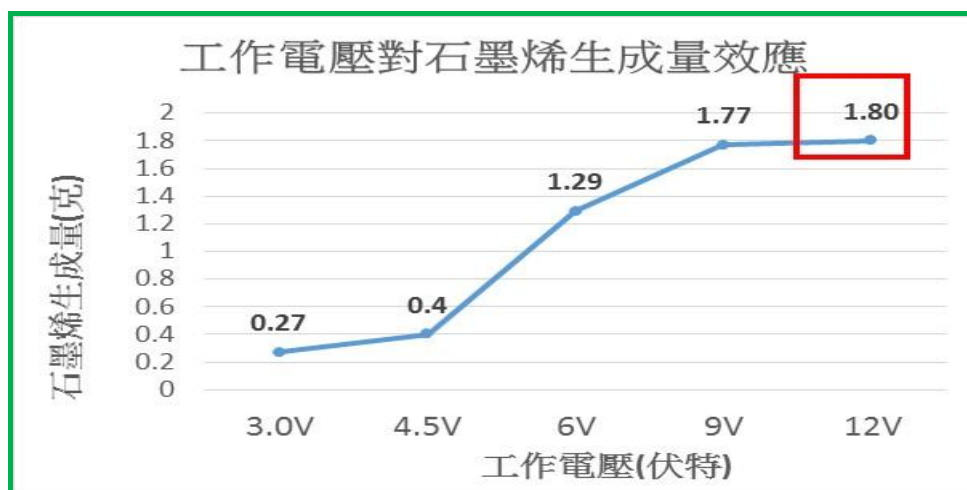
(1): 電量=電流×時間= $0.6A \times 8hr \times 60min \times 60sec = 17280$  庫侖

●使用相同電源與不同電壓對石墨烯生成量結果

電壓(V)	石墨烯生成量測定(g)			石墨烯生成量
	第一次	第二次	第三次	平均值(g)
3V	0.24	0.28	0.29	0.27
4.5V	0.36	0.45	0.40	0.40
6V	1.23	1.29	1.35	1.29
9V	1.78	1.77	1.75	1.77
12V	1.80	1.80	1.81	1.80

(2) 石墨烯生成量:  $12V(1.80g) > 9V(1.77g) > 6V(1.29g) > 4.5V(0.4g) > 3.0V(0.27g)$ , 12V 工作電壓有最大石墨烯生成量, 8 小時產量達 1.80 克。

(3) 工作電壓與生成量之間呈現正相關, 工作電壓愈高石墨烯生成量愈多。



● 討論: 為何電壓愈高, 石墨烯生成量高? 一片石墨烯口罩濾片成本?

- (1)依照電學理論  $\text{電能} = \text{電壓}^2 / \text{電阻} \times \text{時間}$ , 電壓愈高, 能量愈大。足夠高(>5V)的氧化電壓, 便可造成石墨片層間擴張並且逐漸產生剝落; 電壓越高, 能量越高, 石墨剝離速率越高, 生成量越高。
- (2)使用電源供應器, 當電壓 12V 時, 電壓高, 超過 8 小時長時間使用易造成跳電。使用乾電池製造石墨烯, 不易跳電, 使用後可回收石墨棒繼續製造石墨烯。
- (3)實用性與成本: 未來要大量製作建議以 10V 電壓及 0.6A 電源, 則能穩定大量生產製作石墨烯。

製作一片石墨稀口罩濾片成本:  $\text{電能 } E = \text{電流} \times \text{電壓} \times \text{時間 } t = 0.6 \times 10 \times 8 = 0.048 \text{ 千瓦} \cdot \text{小時(度)}$   
 生成 1.80 克石墨烯粉;  $0.048 \times \text{每度電 } 3.5 \text{ 元} = 0.17 \text{ 元} + \text{不織布成本}(1.5 \text{ 元}) + \text{化學試劑}(1 \text{ 元}) = 2.67 \text{ 元}$   
 ① 石墨烯口罩濾片: 2.67 元 ② 石墨烯濾片口罩: 石墨烯口罩濾片(2.67 元) + 一般口罩成本(5 元) = 7.67 元

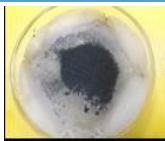
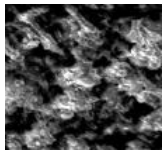
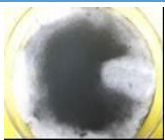
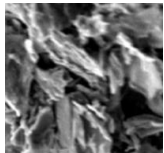
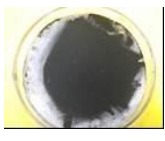
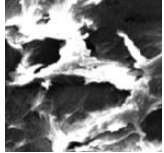
實驗三、不同工作電壓對生成石墨烯特性效應

- (一)實驗設計理念: 依據「電解原理」電解實驗時不同的, 電源電壓會造成, 氧化還原速率不同。石墨烯產率及特性差異。
- (二)實驗假設: 「電壓不同」石墨烯產率及特性會有所差異。
- (三)實驗設計:

操縱變因	電壓(V, 伏特)
控制變因	起始電流(A, 安培, 一號電池(D): 0.6A、電流供應器(0.6A)、環境溫度(20°C)、正極電極(石墨棒, 長 6 cm×直徑 0.7cm)、負極(銅片, 長 ×寬×厚 = 6cm×1cm×0.1cm)、時間 8 小時。
應變變因	石墨烯特性(顏色、粒徑大小、比表面積、孔洞、顯微鏡圖差異)

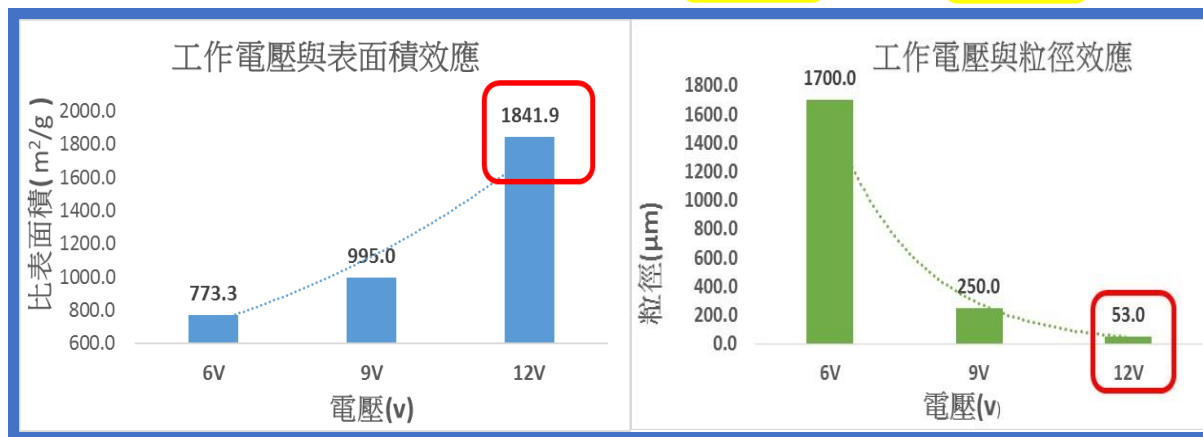
(四)結果與討論

● 本實驗製作的石墨烯特性分析

電壓	顯微鏡	高倍電子顯微鏡	結果
6.0V			1.顏色黑色 2.粒徑粗 孔隙少 3.粒徑大小使用分析篩: 10 mesh 1700 μm 4.比表面積: 773.3 m <sup>2</sup> /g
9.0V			1.顏色黑色 2.顆粒中等、孔隙中等 3.粒徑: 60mesh 250μm 形狀不規則 4. 比表面積: 995.0 m <sup>2</sup> /g
12V			1.顏色亮灰黑色, 有反光 2.孔隙小等、孔洞多, 旁邊白色鏈結, 易吸附有機物 3.形狀鋸齒不規則 4. 適合物理與化學吸附 4.表面易形成亮黑薄膜, 增加過濾吸附效果 5. 粒徑: 270mesh 53μm 6.比表面積: 1841.999 m <sup>2</sup> /g

●本實驗石墨稀與氧化石墨稀比表面積及粒徑分析





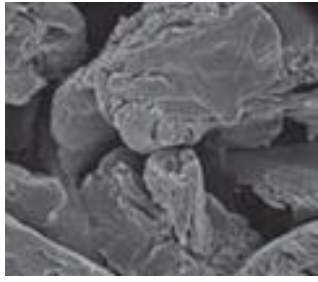
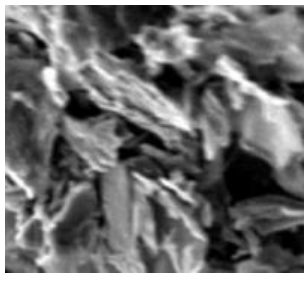
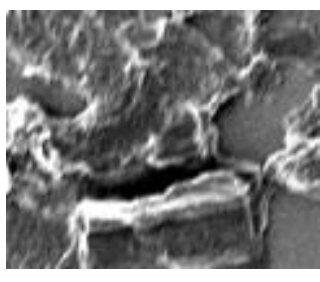
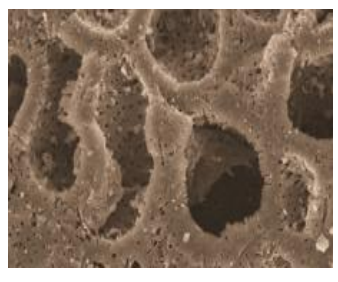

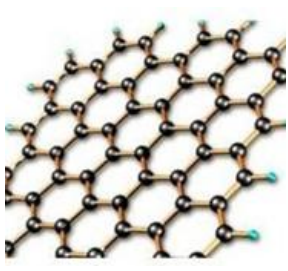
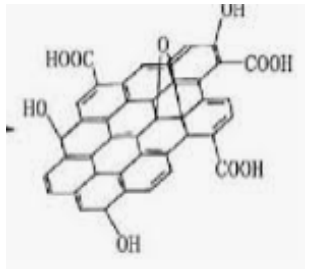
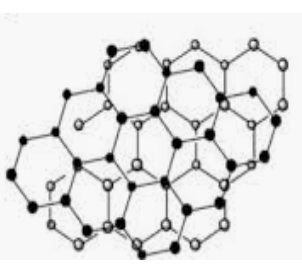
電壓	石墨烯比表面積 (m <sup>2</sup> /g)				篩分析粒徑(μm)
	第一次	第二次	第三次	平均值	
6V	758.0	790.0	771.999	773.3	1700.0
9V	1065.0	923.0	997.0	995.0	250.0
12V	1841.9	1841.9	1841.9	1841.9	53.0
氧化石墨烯比表面積 (m <sup>2</sup> /g)					
濃硫酸 次氯酸鈉氧化	第一次	第二次	第三次	平均值	篩分析粒徑(μm)
	2036.0	2064.0	2050.0	2050.0	53.0



1. 石墨烯顏色: 電壓愈高產生石墨烯顏色較淺，且會產生亮灰黑金屬光澤。
2. 石墨烯比表面積大小: 12V(1841.9) > 9V(995.0) > 6V(773.3 m<sup>2</sup>/g)，比表面積大小與工作電壓呈正相關。電壓愈大，生成石墨烯比表面積愈大。
3. 石墨烯顆粒大小: 12V (53 μm 粉狀) < 9V(250 μm 細粒) < 6V (1700 μm 中粒)，粒徑大小與工作電壓呈負相關。電壓愈大產生石墨烯粒徑愈小，12V 產生石墨烯為粉狀，9V 微細粒狀。
4. 推測原因: 石墨烯粒徑較低電壓下，石墨剝離是由大碎塊組成，孔洞結構並沒有完全的生成，而發現將電壓提高，剝離速率及產率明顯提升，顆粒粒徑明顯由大變小，由 1700 → 250 → 53 μm，孔洞結構可完全生成，孔洞變多，間接貢獻其比表面積與孔體積，對空氣污染物的吸附有正相關的影響。
5. 使用少量次氯酸鈉及濃硫酸氧化後，氧化石墨烯粒徑大小變小，但結構更加蓬鬆，比表面積由 1841.9 變大為 2050 m<sup>2</sup>/g。



●本實驗製作石墨烯、氧化石墨烯與市售石墨及活性碳特性比較分析

對照組	實驗組		對照組
石墨	石墨烯	氧化石墨烯	活性碳
			
顯微鏡圖: 多層平面網狀	顯微鏡圖: 單層平面網狀	顯微鏡圖: 單層平面網狀	顯微鏡圖: 多層六角晶體
			
			
1.粉較粗糙 2.顯微鏡圖:球狀、圓塊狀 立體多層結構 3.無孔洞	1.粉狀細緻 2.顯微鏡圖:有孔隙六角形、或不規則，平面狀 片狀結構	1.粉狀鬆散蓬鬆 2.顯微鏡圖:不完整六角形 旁邊有白色鍵結、片狀結構	1.粉粒略蓬鬆 2.顯微鏡圖:完整六角形、立體中空結構
粒徑: 200mesh ≤ 74 μ m 比表面積:580.2 m <sup>2</sup> /g	使用顯微鏡方格面積估算法:，石墨烯純度約為:80% 粒徑: 270mesh ≤ 53 μ m 比表面積: 1841.9m <sup>2</sup> /g	使用顯微鏡方格面積估算法，氧化石墨烯純度約為:80% 粒徑: 270mesh ≤ 53μm 比表面積:2050.0 m <sup>2</sup> /g	粒徑: 270mesh ≤ 53 μ m 比表面積:1500.0 m <sup>2</sup> /g
備註: 顯微鏡圖: 使用顯微鏡，粒徑分析: 使用分析篩，比表面積:比表面積分析儀			



## 實驗四、電解液種類對石墨烯生成量效應

(一)實驗設計理念: 依據「電化學原理」電化學反應時電解液電源電壓會造成氧化還原速率不同, 造成石墨烯產率差異。

(二)實驗假設: 「電解液不同」石墨烯產率及特性會有所差異。

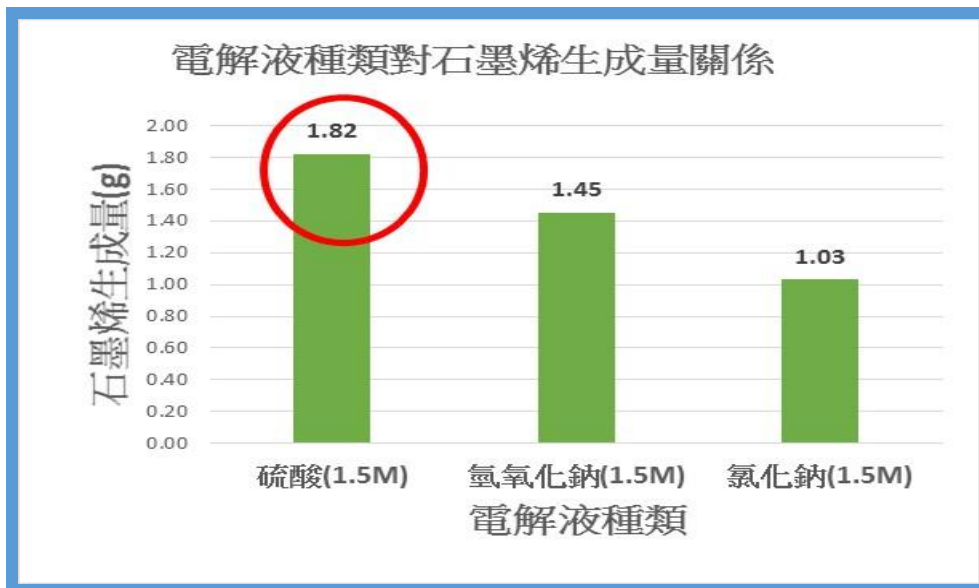
(三)實驗設計:

操縱變因	電解液(硫酸 $\text{H}_2\text{SO}_4$ 、氫氧化鈉 $\text{NaOH}$ 、氯化鈉 $\text{NaCl}$ ) 濃度 1.5M
控制變因	起始電流(A, 安培, 一號電池 (D) :0.6Ah、電流供應器 0.6A)、環境溫度 ( $20^\circ\text{C}$ )、正極電極(石墨棒, 長 6cm x直徑 0.7cm)、負極(銅片, 長 x寬x 厚 =6cm×1cm× 0.1cm) 、時間 8 小時
應變變因	石墨烯生成量

(四)結果與討論

### ●電解液種類對石墨烯生成量效應

電解液種類/濃度	石墨烯生成量(g)			
	第一次	第二次	第三次	平均值
硫酸(1.5M)	1.80	1.83	1.82	1.82
氫氧化鈉(1.5M)	1.40	1.48	1.48	1.45
氯化鈉(1.5M)	1.02	1.13	0.95	1.03



●結果: ①石墨烯生成量(g) 硫酸(1.82g) > 氫氧化鈉(1.43g) >氯化鈉(1.03g)

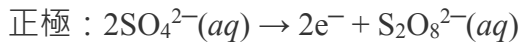
②1.5 M 硫酸為最佳電解液

●討論: 為何使用硫酸當電解液, 石墨烯產量較高呢?

電化學剝離法所使用階段性的電壓進行反應, 存在著兩個階段性的電化學機制:

① 第一階段:**水分子解離效應**-電解液中的水分子被解離成為氫氧根離子(OH)以及氫離子(H<sup>+</sup>)。根據電流的化學效應理, 陰離子會往陽極方向移動, 此時氫氧根離子(OH)將會侵蝕石墨層間與晶界處, 使石墨形成缺陷空間。

- ② 第二階段:**硫酸根效應**-溶液中的硫酸根離子( $\text{SO}_4^{2-}$ )嵌入其缺陷空間並且造成嵌入層表面的氧化，同時幫助電化學反應並產生反應氣體  $\text{O}_2$ ，此時若給予足夠高(>5V)的氧化電壓 (Oxidation voltage)，便有足夠能量可造成石墨片層間擴張並且逐漸產生剝落。



而氫氧化鉀溶液由於沒有硫酸根離子( $\text{SO}_4^{2-}$ )的成份在內，因此在第二階段中少了硫酸根離子嵌入並幫助電化學反應以及氧化表面，使其僅能微弱且少量的剝落石墨片，因此在效率方面的表現遠不如含有硫酸成分的電解液。氯化鈉水水溶液，無第一階段反應，氯離子嵌入能力較硫酸根離子弱，因此石墨烯生成量較低。

## 實驗五、氧化劑比例對石墨烯氧化成氧化石墨烯效應

(一)實驗假設：依據「氧化還原原理」不同氧化劑及比例，氧化還原速率不同，造成氧化石墨烯比表面積及對  $\text{PM}_{2.5}$  去除率差異。

(二)實驗設計：

操縱變因	氧化劑比例
控制變因	反應溫度(20°C)、反應時間(1 小時) 氧化劑濃度(10M)
應變變因	氧化石墨烯比表面積

(四)結果與討論：

氧化劑比例	比表面積( $\text{m}^2/\text{g}$ )			
	第一次	第二次	第三次	平均值
石墨烯:濃硫酸:次氯酸鈉=1:1:1	1363	1316	1337	1339
石墨烯:濃硫酸:次氯酸鈉=1:1:2	2036	2064	2050	2050
石墨烯:濃硝酸:次氯酸鈉=1:1:1	966	978	954	966
石墨烯:濃硝酸:次氯酸鈉=1:1:2	1076	1165	1121	1121



- 結果:①石墨烯:濃硫酸:次氯酸鈉=1:1:2 比例，生成氧化石墨烯比表面積最大(2050m<sup>2</sup>/g) ②濃硫酸對石墨烯氧化效果較濃硝酸來的好。

● 討論: 為何使用比表面積大，吸附效果較高呢?

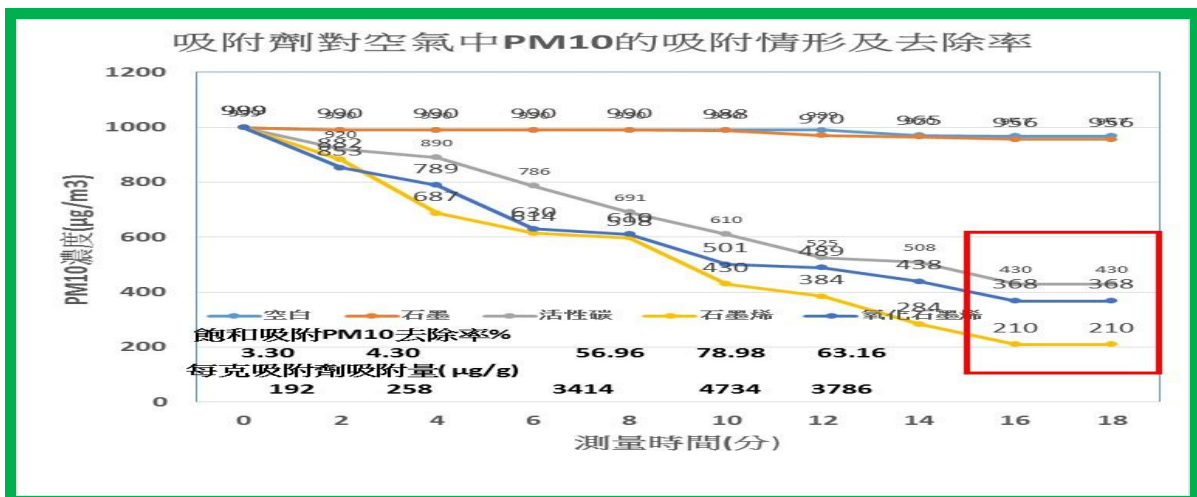
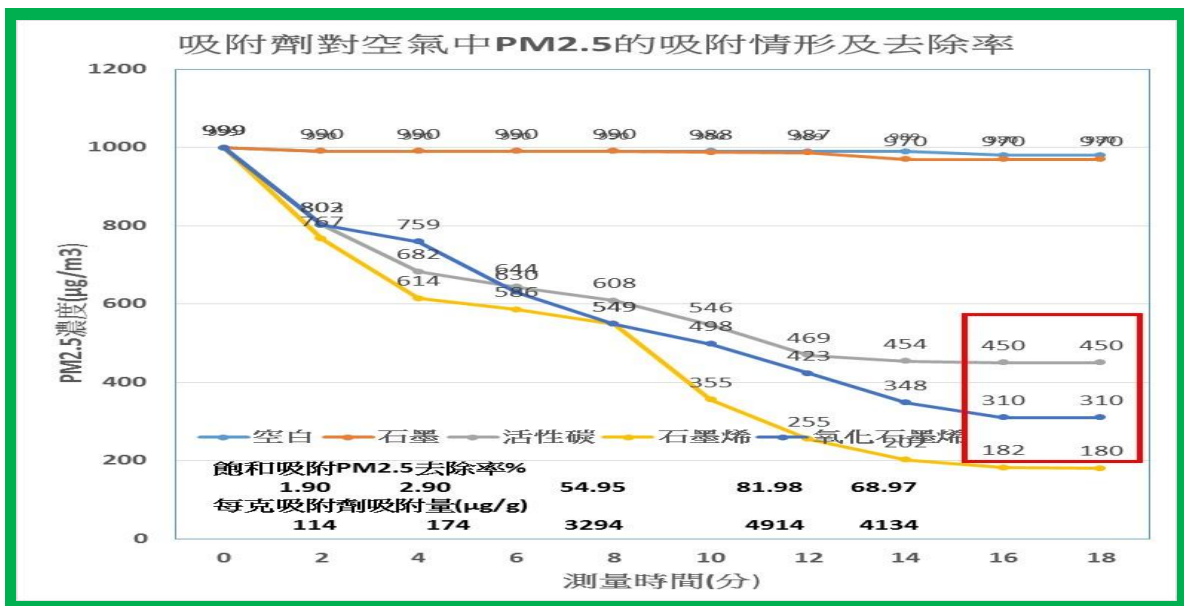
- ①不管是物理吸附還是化學吸附都跟吸附劑的表面有關，即吸附劑表面可提供給吸附質的“吸附位點”有關。比表面積愈大提供吸附位點愈多，吸附能力強，去除率便較高。
- ②孔洞越多，孔徑越小的吸附劑，其比表面積越大，去除率便較高

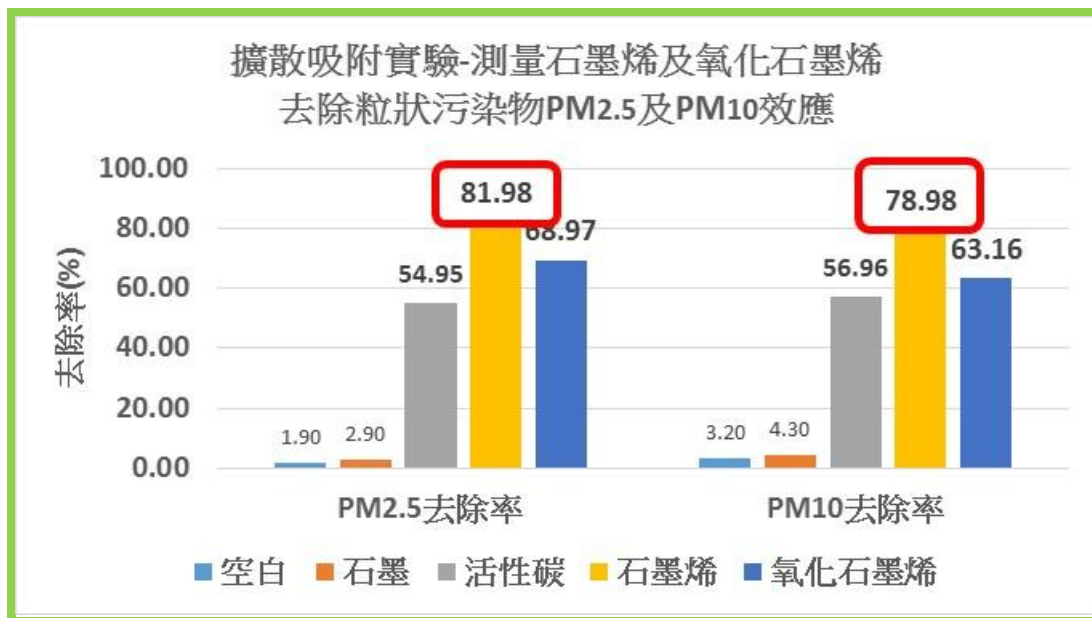
**實驗六、擴散吸附實驗-測量石墨烯及氧化石墨烯去除粒狀污染物 PM2.5 及 PM10 效應**

- (一)實驗設計理念: 不同種類吸附劑特性不同，會影響淨化空氣，去除 PM2.5 及 PM10 效果。
- (二)實驗假設: 不同種類吸附劑有不同特性，對污染物有不同去除效果。
- (三)實驗設計: 實驗組去除 PM2.5 效果>對照組

操縱變因	實驗組:石墨烯、氧化石墨烯 對照組:活性炭、石墨、空白試驗。
控制變因	試驗瓶內空氣起始 PM2.5 及 PM10 濃度: 999 微克/立方公尺(mg/ m <sup>3</sup> )、吸附時間(18min)。
應變變因	(1) PM2.5 去除率 (2)PM10 去除率

(四)結果與討論:





● **結果:**

- (1) 吸附劑吸附情形: 石墨烯、氧化石墨烯、活性炭三種吸附劑對 PM2.5、PM10 吸附，濃度隨時間下降，在 16-18 分鐘，趨近於水平，表示 18 分鐘已呈現飽和吸附。
- (2) 擴散吸附去除率%: PM2.5 去除率，石墨烯(81.98%) > 氧化石墨烯(68.97%) > 活性炭(54.95%) > 石墨(2.90%) > 空白(1.90%)
- (3) 去除率%: PM10 去除率與 PM2.5 具有一致性，且 PM2.5 粒徑小於 PM10 能去除 PM2.5 亦能去除 PM10。
- (4) 每一克吸附劑吸附 PM2.5 量分別為: 石墨烯(4914 $\mu\text{g/g}$ ) > 氧化石墨烯(4134  $\mu\text{g/g}$ ) > 活性炭(3294  $\mu\text{g/g}$ )，有相當不錯效果。

● **討論:** 石墨烯對 PM2.5 去除效果為何優於活性炭?

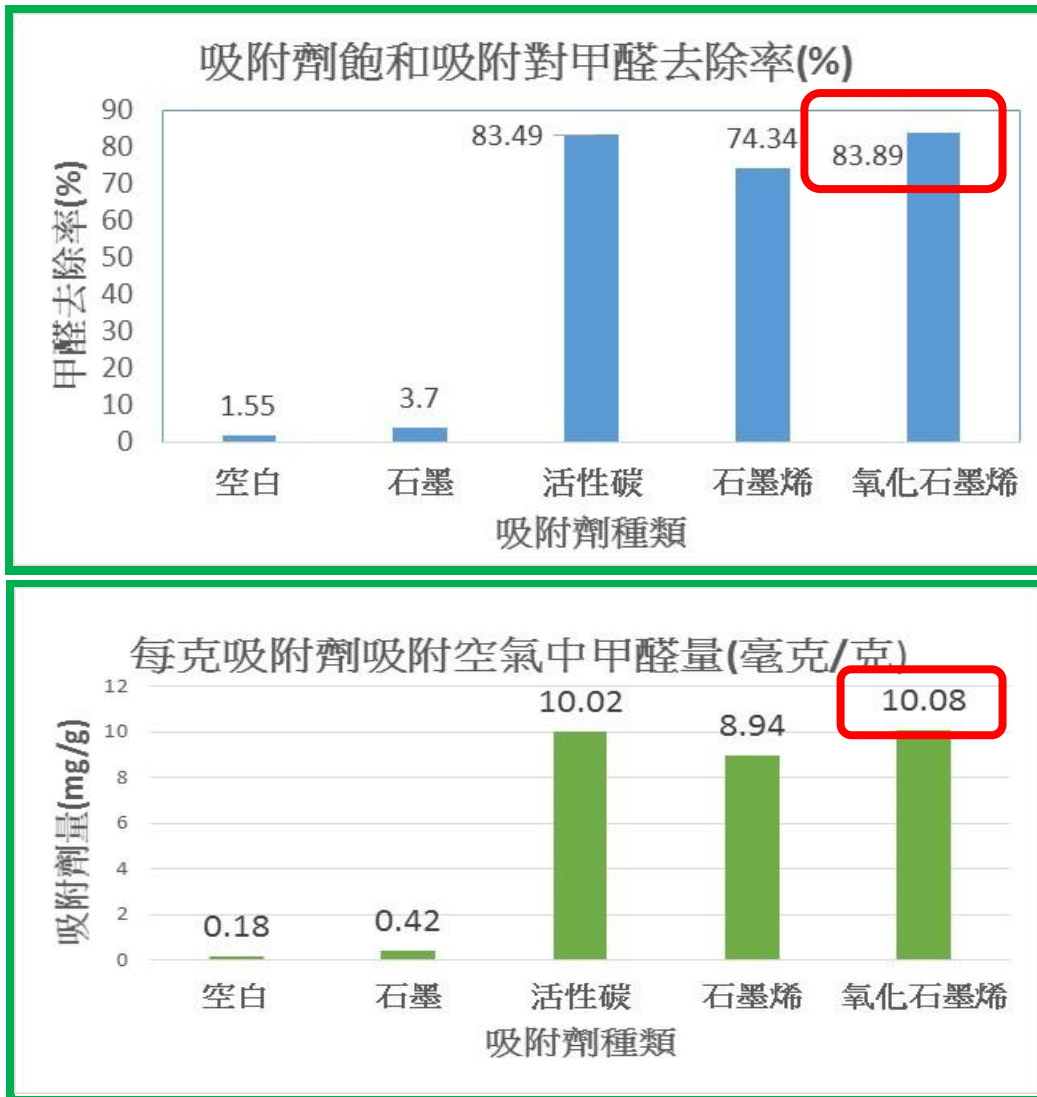
- (1) 石墨烯粉，粒徑小、孔隙小、比表面積大，表面易形成薄膜鍵結，造成亮黑色薄膜，可過濾吸附三類污染物: 粒狀污染物，金屬離子與無機陰離子。活性炭雖然有很多孔隙但孔隙較大，且凡德瓦力較弱(指分子間的正負電荷吸引力)無法有效抓住 PM2.5，稍微抖動，就會掉光，石墨烯薄膜具有強效凡德瓦力，因此吸附 PM2.5 效果較佳。
- (2) 氧化石墨烯，本身結構較蓬鬆，且有其他官能基存在例如羧基等含基團，較易吸附有機污染物。
- (3) 石墨烯、氧化石墨烯去除粒狀污染物 PM2.5 及 PM10 效果優於活性炭，可有效取代傳統吸附劑。

**實驗七、擴散吸附實驗-測量石墨烯及氧化石墨烯對氣狀污染物甲醛的去除效應**

- (一) 實驗設計理念: 不同種類吸附劑有不同特性，會影響氣狀污染物的去除效果。
- (二) 實驗假設: 實驗組對甲醛去除率 > 對照組對甲醛去除率。
- (三) 實驗設計: 擴散吸附實驗

操縱變因	實驗組: 石墨烯、氧化石墨烯 對照組: 活性炭、石墨、空白試驗
控制變因	試驗瓶內甲醛起始濃度: 1.999 $\text{mg/m}^3$ 、吸附時間(18min)、環境溫度(20 $^{\circ}\text{C}$ )
應變變因	甲醛吸附情形、甲醛去除率

#### (四)結果與討論



#### ● 結果:

- (1) 甲醛去除率%: 氧化石墨烯(83.89%) > 活性碳粉(83.49%) > 石墨烯(74.34%) > 石墨(3.70%) > 空白(1.55%)
- (2) 每一克吸附劑吸附甲醛量分別為: 氧化石墨烯(10.08mg/g) > 活性碳(10.02 μg/g) > 石墨烯(8.94mg/g), 有相當不錯效果。
- (3) 甲醛是室內空氣污染物指標物, 亦為「已知人類致癌物」, 故以其為指標, 未來將進一步研究其他有機污染物例如氮氧化物、硫氧化物去除效果。

#### ● 討論: 為何氧化石墨烯對甲醛吸附能力較強? 去除率較高?

- (1) 石墨烯物理吸附能力較強, 因此在粒狀污染物 PM2.5、PM10 去除率較佳, 氧化石墨烯、活性碳化學性吸附能力較強, 因此在氣狀污染物甲醛去除率較佳。
- (2) 氧化石墨烯具有羧基等基團, 透過靜電作用、氫鍵與空氣中有機污染物結合, 因此去除效率較高。

## 實驗八、探討石墨烯-氧化石墨烯去除 PM2.5 及甲醛最佳混合比例效應

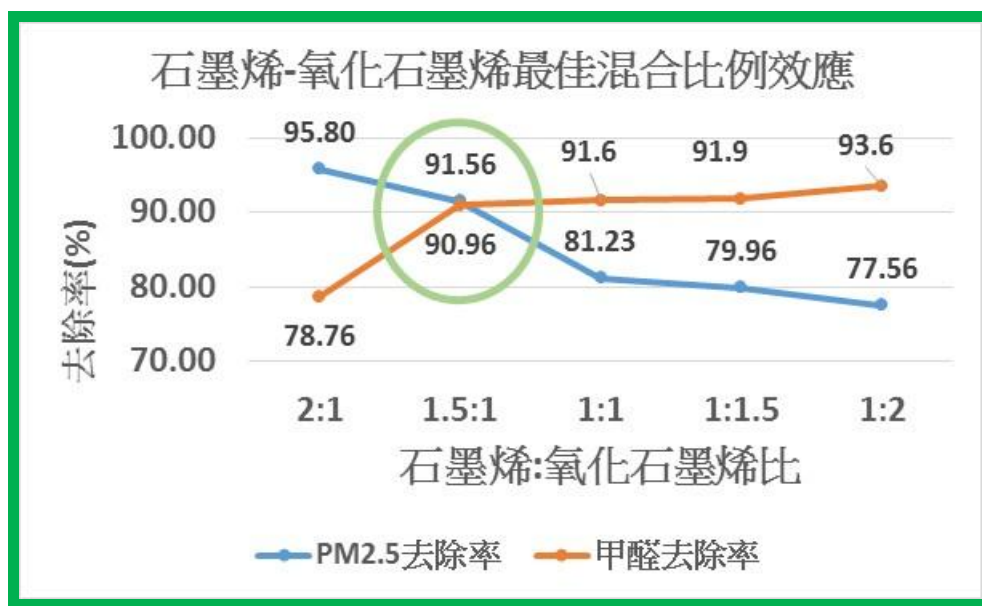
(一)實驗設計理念: 石墨烯與氧化石墨烯, 混合比例多少才能同時達到 PM2.5 與甲醛均有良好去除效果。

(二)實驗假設: 石墨烯與氧化石墨烯在不同組合, 能增加 PM2.5 及甲醛去除率。

(三)實驗設計:

操縱變因	石墨烯:氧化石墨烯比例=: 2:1、1.5:1、1:1、1:1.5、1:2, 總劑量 1.5g
控制變因	試驗瓶內空氣起始甲醛濃度: 1.999 mg/m <sup>3</sup> 、吸附時間(18min)、環境溫度(20°C)。
應變變因	PM2.5 及甲醛去除率。

(四)結果與討論:



### ● 結果:

石墨烯:氧化石墨烯比例=1.5:1 時, PM2.5 去除率 91.56%, 甲醛去除率 90.96%, 出現黃金交叉現象, 為兼顧顆粒狀 PM2.5 及氣狀污染甲醛去除率均可達到 90%, 故使用此混合比例去製作口罩。

### ● 討論: 為何石墨烯:氧化石墨烯比例=1.5:1 最佳呢?

氧化石墨烯屬於化學性鍵結力較強, 因此需求劑量較低, 石墨烯較偏向物理性吸附速度較快但吸附力弱, 需要較高劑量。

石墨烯:氧化石墨烯比例	PM2.5 去除率(%)				甲醛去除率(%)			
	第一次	第二次	第三次	平均值	第一次	第二次	第三次	平均值
2:1	94.4	96.5	96.5	95.80	76.6	79.8	79.9	78.76
1.5:1	89.9	91.4	93.4	91.56	89.9	92.2	90.8	90.96
1:1	79.9	81.2	82.6	81.23	91.6	90.9	92.3	91.60
1:1.5	78.5	80.6	80.8	79.96	90.8	92.4	93.5	91.90
1:2	77.5	79.5	75.7	77.56	92.8	93.7	94.3	93.60

## 實驗九、呼吸箱模擬測試自製石墨烯-氧化石墨烯口罩濾片對 PM2.5、甲醛去除效應

(一)實驗設計理念: 模擬人體呼吸狀況, 了解石墨烯對 PM2.5、甲醛去除效應

(二)實驗假設: 石墨烯口罩去除 PM2.5、甲醛效率高於對照組口罩

(三)實驗設計:

操縱變因	(1)實驗組: 充填石墨烯口罩濾片、充填石墨烯-氧化石墨烯口罩濾片 (2)對照組: 充填活性炭口罩濾片、未充填的口罩濾片
控制變因	下層試驗瓶內空氣起始甲醛濃度: 1.999 毫克/立方公尺、抽氣體積(20 次 600 cm <sup>3</sup> ) 平衡時間(2min)、環境溫度(20°C)。 充填吸附劑量 1.5 公克、口罩濾片: 內層: 吸附劑 外層: 熔噴不織布一層+聚丙烯不織布兩層
應變變因	PM2.5 及甲醛去除率%

(四)結果與討論:

### ● 結果:

(1)呼吸箱模擬測試: PM2.5 去除率, 石墨烯(93.79%) > 石墨烯-氧化石墨烯(91.32%) > 活性炭(59.09%) > 未充填(35.84%)

(2)呼吸箱模擬測試: 甲醛去除率, 石墨烯-氧化石墨烯(92.96%) > 石墨烯(85.81%) > 活性炭(79.97%) > 未充填(20.54%)

(3)石墨烯-氧化石墨烯口罩濾片 PM2.5 與甲醛去除率均可達到 90% 以上效果, 真正雙效合一。

●呼吸箱模擬測試自製石墨烯-氧化石墨烯口罩濾片對 PM2.5、甲醛去除率結果



















組別	實驗組				對照組			
	自製充填口罩濾		自製充填口罩濾		對照組		對照組	
去除率(%)	PM2.5	甲醛	PM2.5	甲醛	PM2.5	甲醛	PM2.5	甲醛
樣本一	93.09	85.54	91.19	91.80	58.86	74.34	37.04	19.96
樣本二	93.09	85.14	91.29	92.25	56.35	76.99	38.94	19.36
樣本三	95.20	86.74	91.49	92.15	62.06	76.59	31.53	22.31
平均去除率(%)	93.79	85.81	91.32	92.06	59.09	75.97	35.84	20.54

●**討論:** 呼吸箱模擬測試與擴散吸附實驗結果有何差異?

(1) 呼吸箱模擬測試與擴散吸附實驗，兩者實驗結果具有一致性。

(2) 呼吸箱模擬測試因為屬於主動性吸附，因此容易在短時間達成飽和吸附而破出失效，因此充填劑量需要比擴散吸附實驗略增，但也因為劑量及吸氣壓力的因素造成吸附效果更佳，去除率更高。

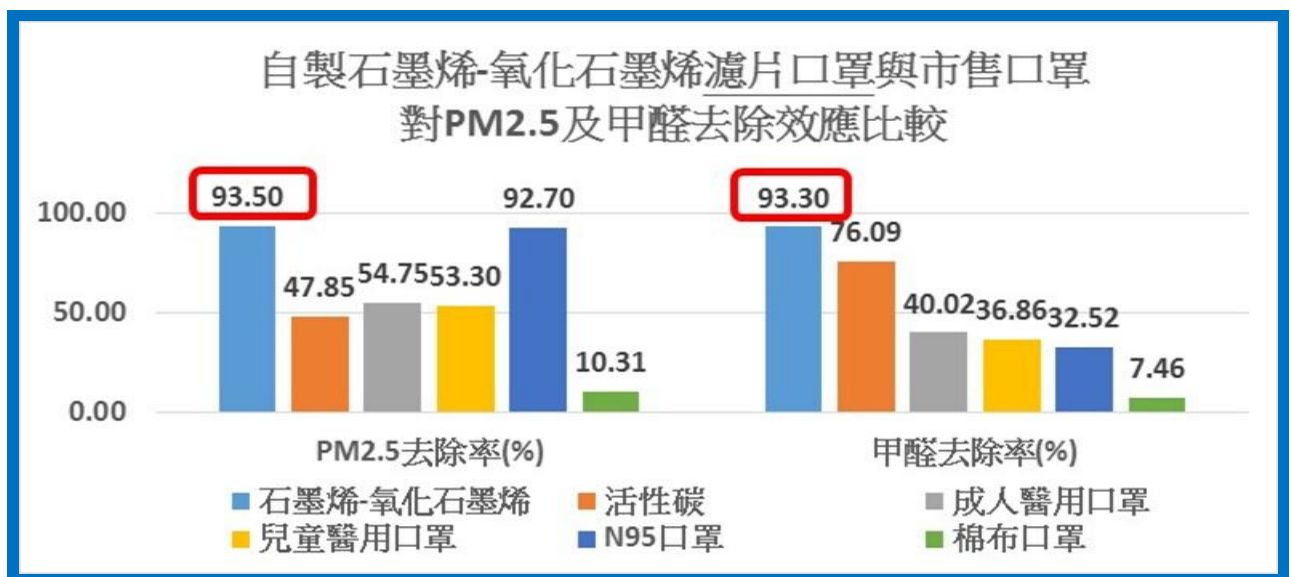
●呼吸箱模擬測試-通過自製石墨烯-氧化石墨烯口罩濾片對 PM2.5、甲醛去除過程圖:

實 驗 組	濾 片	通過口罩濾片	通過口罩濾片吸附後		
		吸附前	樣本一	樣本二	樣本三
石 墨 烯		PM2.5: 999 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 甲醛: 1.999 $\text{mg}/\text{m}^3$	PM2.5: 69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 甲醛: : 0.289 $\text{mg}/\text{m}^3$	PM2.5: 69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 甲醛: : 0.297 $\text{mg}/\text{m}^3$	PM2.5: 48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 甲醛: : 0.265 $\text{mg}/\text{m}^3$
					
石 墨 烯 氧 化 石 墨 烯		PM2.5: 999 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 甲醛: 1.999 $\text{mg}/\text{m}^3$	PM2.5: 88 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 甲醛: : 0.164 $\text{mg}/\text{m}^3$	PM2.5: 87 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 甲醛: : 0.155 $\text{mg}/\text{m}^3$	PM2.5: 85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 甲醛: : 0.157 $\text{mg}/\text{m}^3$
					
對 照 組	活 性 碳	PM2.5: 999 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 甲醛: 1.999 $\text{mg}/\text{m}^3$	PM2.5: 411 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 甲醛: : 0.513 $\text{mg}/\text{m}^3$	PM2.5: 436 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 甲醛: : 0.460 $\text{mg}/\text{m}^3$	PM2.5: 379 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 甲醛: : 0.468 $\text{mg}/\text{m}^3$
					
不 織 布 (未 充 填)		PM2.5: 999 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 甲 醛: 1.999 $\text{mg}/\text{m}^3$	PM2.5: 629 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 甲醛: 1.600 $\text{mg}/\text{m}^3$	PM2.5: 610 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 甲醛: 1.612 $\text{mg}/\text{m}^3$	PM2.5: 684 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 甲 醛: 1.553 $\text{mg}/\text{m}^3$
					



## 實驗十、自製石墨烯-氧化石墨烯濾片口罩與市售口罩對 PM2.5 及甲醛去除效應比較

PM2.5		實驗組	對照組(市售口罩)				
口罩種類		濾片+醫用口罩=濾片口罩	活性炭口罩	成人醫用口罩	小孩醫用口罩	N95 口罩	棉布 口罩
起始濃度( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		999	999	999	999	999	999
抽氣過濾後濃度	品牌一	66(自製)	543	495	608	41	897
抽氣過濾後濃度	品牌二	61(自製)	530	448	314	122	896
抽氣過濾後濃度	品牌三	68(自製)	490	413	508	56	895
平均值		65.0	521	452	476.6	73.0	896
通過率(%)		6.50	52.15	45.25	47.70	7.30	89.69
去除率(濾過率%)		93.50	47.85	54.75	53.30	92.70	10.31
甲醛		實驗組	對照組(市售口罩)				
口罩種類		濾片+醫用口罩=濾片口罩	活性炭 口罩	成人醫用 口罩	小孩醫用 口罩	N95 口罩	棉布 口罩
起始濃度( $\text{mg}/\text{m}^3$ )		1.999	1.999	1.999	1.999	1.999	1.999
抽氣過濾後濃度	品牌一	0.146(自製)	0.435	1.200	1.250	1.320	1.870
抽氣過濾後濃度	品牌二	0.123(自製)	0.458	1.228	1.279	1.379	1.800
抽氣過濾後濃度	品牌三	0.133(自製)	0.540	1.170	1.258	1.348	1.879
平均值		0.134	0.478	1.199	1.262	1.349	1.850
通過率(%)		6.70	23.91	59.98	63.13	67.48	92.54
去除率(濾過率%)		93.30	76.09	40.02	36.86	32.52	7.46



● 結果:

- (1) PM2.5 去除率，石墨烯-氧化石墨烯濾片口罩(93.50%)> N95 口罩(92.70%)> 成人醫用口罩(57.75%)> 兒童醫用口罩(53.30%) > 活性炭口罩(47.85%) > 棉布口罩(10.31%)
- (2) 甲醛去除率，石墨烯-氧化石墨烯口罩(93.30%)> 活性炭口罩(76.09%)> 成人醫用口罩(40.02%)> 兒童醫用口罩(36.86%)> N95 口罩(32.52%)> 棉布口罩(7.46%)



●討論: 石墨烯-氧化石墨烯濾片口罩效能較高原因為何?

石墨烯-氧化石墨烯濾片口罩=石墨烯化石墨烯-氧化石墨烯濾片+口罩，簡稱石墨烯濾片口罩。

- (1)自製石墨烯-氧化石墨烯口罩濾片，過濾 PM2.5 、有機氣體(甲醛)有良好效能，加上醫用口罩不織布層原有過濾飛沫病毒能力，即變成了三效合一。
- (2) 石墨烯濾片口罩=濾片 +醫用口罩。比單獨濾片效能再提升，PM2.5 去除率 91.32%⇒ 93.50%，甲醛去除率 92.06%⇒93.30%
- (3)本實驗石墨烯-氧化石墨烯口罩濾片， 石墨烯具有高比表面積、孔細小、形成薄膜靜電特性，在攔截、引力吸引、凡德瓦力、靜電力均有良好表現，氧化石墨烯具有化學鍵結，因此在化學性吸附有良好表現。
- (4) 濾片三效合一:是結合將石墨烯充填內層+醫用口罩(熔噴不織布一層+聚丙烯不織布兩層)當外層，可以解決活性炭與醫用口罩過濾 PM2.5 與甲醛的不足，同時能三效過濾(1)PM2.5 (2)有機氣體(甲醛) (3)飛沫病毒，畢其功於一役。

## 實驗十一 口罩舒適度試驗-吸氣阻力比較

### 1. 口罩濾片

口罩種類	實驗組			
	濾片			
內層/充填	石墨烯-氧化石墨烯	石墨烯-氧化石墨烯	石墨烯-氧化石墨烯	石墨烯-氧化石墨烯
外層	厚濾紙兩層	厚不織布兩層	熔噴不織布兩層	熔噴不織布一層 聚丙烯不織布兩層
總層數	三層	三層	三層	四層
第一次	148	109	85	89
第二次	152	112	86	90
第三次	156	115	89	91
平均值(gw)	112	112.9	86.9	90.0
優缺點	易潮濕、阻力大	阻力大、輕微漏粉	阻力小、可阻病菌 但些許漏粉	阻力小、可阻病菌 且不漏粉
圖				

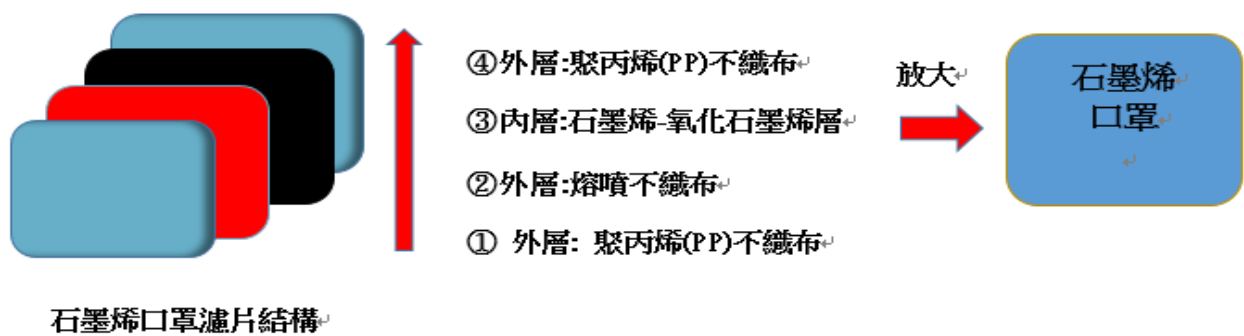
2..口罩: ①濾片→擴大→石墨烯口罩 ②濾片+市售醫用口罩→石墨烯濾片口罩

實驗組				
口罩種類	① 濾片→擴大→石墨烯口罩 ②濾片+市售醫用口罩→石墨烯濾片口罩			
內層/充填	石墨烯-氧化石墨烯	石墨烯-氧化石墨烯	石墨烯-氧化石墨烯	石墨烯-氧化石墨烯
外層	熔噴不織布一層 聚丙烯不織布兩層	厚不織布+醫用口罩	熔噴不織布一層+聚 丙烯不織布兩層+布 口罩→(濾片+口罩)	熔噴不織布一層+ 聚丙烯不織布兩層 +醫用口罩→(濾片 +口罩)
總層數	四層	六層	六層	七層
種類	石墨烯口罩	石墨烯厚不織布濾片 口罩	石墨烯濾片布口罩	石墨烯濾片醫用 口罩
第一次	89	140	96	118
第二次	92	146	102	124
第三次	93	147	98	128
平均值 (gw)	91.3	144.3	98.6	123.3
圖				
	① 石墨烯口罩	② 石墨烯濾片口罩	③ 石墨烯濾片口罩	④ 石墨烯濾片口罩

對照組				
口罩種類	活性炭口罩	成人醫用口罩	兒童醫用口罩	N95 口罩
內層/充填	活性炭層	熔噴不織布	熔噴不織布	靜電過濾不織布
外層	聚丙烯不織布	聚丙烯不織布	聚丙烯不織布	聚丙烯不織布
總層數	三層	三層	二層	五層
第一次	145	102	88	198
第二次	147	105	84	200
第三次	140	105	86	212
平均值 (gw)	144.0	104.0	86.0	203.3
圖				

### 3. 口罩舒適度試驗-吸氣阻力比較

舒適透氣度	吸氣阻力(gw)	口罩
高	<100	石墨烯-氧化石墨烯口罩濾片(外層:熔噴不織布+聚丙烯不織布) 石墨烯-氧化石墨烯口罩濾片+布口罩 兒童醫用口罩(二層)
中高	100-140	石墨烯-氧化石墨烯口罩濾片+醫用口罩 成人醫用口罩
中	140-180	石墨烯-氧化石墨烯(外層:厚不織布)+醫用口罩 活性炭口罩
低	>180	N95 口罩



● 結果與討論:

(1) 口罩濾片: 內層: 石墨烯-氧化石墨烯 + 外層: 熔噴不織布一層+聚丙烯不織布兩層 → 口罩濾片 (舒適透氣度高 +吸氣阻力小+ PM2.5 甲醛去除率高+可以濾菌三效合一)→實用性高及成本低, 可貼於於醫用口罩、布口罩。

(2) 自製口罩:

① 口罩濾片 → 放大 → 石墨烯口罩 (舒適透氣度高 +吸氣阻力小+ PM2.5 甲醛去除率高+ 可以濾菌三效合一)。

② 口罩濾片 + 醫用口罩 → 石墨烯濾片醫用口罩: (舒適透氣度中高等+吸氣阻力中高等+ PM2.5 甲醛去除率高+可以濾菌 三效合一)→製作成口罩濾片貼到醫用口罩→實用性高及價格低。

口罩濾片 + 布口罩 → 石墨烯濾片布口罩: (舒適透氣度高+吸氣阻力中高等+ PM2.5 甲醛去除率高+可以濾菌 三效合一)→製作成口罩濾片貼到醫用口罩→實用性高及價格低。

## 柒、結論與未來展望

實驗一、電池拆解方法與效率及品牌效應:

方法 2 先拆電池側面, 再拆頂蓋, 拆解速度較快。品牌效應: 國○牌拆解速率較快。

實驗二、工作電壓與石墨烯生成量與生成當量效應:

電壓愈高石墨烯生成量愈高。

實驗三、不同工作電壓對生成石墨烯特性效應:

工作電壓愈高粒徑愈小, 比表面積愈大。

實驗四、電解液種類對石墨烯生成量效應:

1.5M 硫酸為最佳電解液, 石墨烯生成量最大。

實驗五、探討氧化劑比例對石墨烯氧化成氧化石墨烯效應

石墨烯:濃硫酸:次氯酸鈉=1:1:2 為最佳混合比例, 生成氧化石墨烯比表面積最大(2050m<sup>2</sup>/g)。

實驗六、擴散吸附實驗-測量石墨烯及氧化石墨烯去除粒狀污染物 PM2.5 及 PM10 效應

石墨烯、氧化石墨烯去除粒狀汙染物 PM2.5 及 PM10 效應均優於活性碳, 可有效取代傳統吸附劑。

實驗七、探討擴散吸附實驗-測量石墨烯對氣狀污染物甲醛的去除效應:

甲醛去除率%:氧化石墨烯(83.89%)、 石墨烯(74.34%)

實驗八、探討石墨烯-氧化石墨烯最佳混合比例效應

石墨烯:氧化石墨烯 1.5:1 為最佳混合比例，粒狀 PM2.5 及氣狀污染甲醛去除率均大於 90%。

### 實驗九、呼吸箱模擬測試自製石墨烯口罩濾片對 PM2.5 、PM10 甲醛去除效應

呼吸箱模擬測試: PM2.5 去除率，95.17%；甲醛去除率，97.27%

### 實驗十、自製石墨烯-氧化石墨烯濾片口罩與市售口罩對 PM2.5 及甲醛去除效應比較

自製石墨烯-氧化石墨烯口罩，過濾 PM2.5 、有機氣體(甲醛)有良好效能(去除率>90%)，加上醫用口罩外層原有過濾飛沫病毒能力，即變成了三效合一的口罩。

### 實驗十一: 口罩舒適度-吸氣阻力比較

自製濾片口罩: 口罩濾片 + 醫用口罩/布口罩 → PM2.5 與甲醛去除率高、舒適度佳、價格便宜。

### 未來展望：

石墨烯與氧化石墨烯是淨化空氣的理想吸附劑，可以除去空氣中的懸浮微粒，及有害的有機物。其用量少，效果好，過濾 PM2.5 、有機氣體(甲醛)有良好效能(去除率>90%)，加上醫用口罩熔噴不織布外層原有過濾飛沫病毒能力，即變成了三效合一的口罩。可以解決活性炭與醫用口罩過濾 PM2.5 的不足，亦可以解決 N95 無法過濾氣狀有機污染物及不透氣的問題。相信未來如果更進一步改良，商品化，將可以造福更多人群。

## 捌、參考文獻

- 1.洪偉修(2010) 世界上最薄的材料-石墨烯，康熹文化事業股份有限公司。
- 2.石墨烯(2020) 取自維基百科 <https://zh.wikipedia.org/wiki/石墨烯>
3. 傅家緯(2013) 電化學剝離石墨烯之優化。中正大學碩士論文。
4. 梁詠蓁(2014) 石墨烯光觸媒複合材料 之特性及應用。國立勤益科技大學。
5. 顧洋(2007) 環境工程概論 4/e 東華書局
6. 黃武章(2011) 環境化學 高立圖書公司
7. 中央氣象局。中央氣象局。 <http://www.cwb.gov.tw/V7/index.htm> 。
8. 細懸浮微粒。行政院環境保護署。 <http://taqm.epa.gov.tw/pm25/tw/default.aspx> 。
9. 懸浮微粒 維基百科 <https://zh.wikipedia.org/wiki/懸浮微粒>。
- 10.【霧霾真相】揭開 PM2.5 的真面目 對人體危害如此大。2013-12-09。  
<http://www.ntdtv.com/xtr/b5/2013/12/10/a1021047.htm> 1 。
11. 陳冠辰(2016) 果然罩得住 中華民國第 57 屆中小學科學展覽會作品說明書。
12. 李益先(2016) 隱形殺手-PM2.5，中華民國第 57 屆中小學科學展覽會作品說明書。
13. 辛宇恩(2019) 黑色奇蹟，新竹縣第 59 屆中小學科學展覽會作品說明書。
14. 口罩(2020) 取自維基百科 <https://zh.wikipedia.org/wiki/口罩>
15. 劉宣良(2003) 口罩與過濾，科學發展，368，67-71。
16. 陳春萬(2008) 附加活性炭拋棄式防塵口罩性能研究，勞工安全衛生研究季刊，16(3) 295-303。