

2020 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 200008

參展科別 環境工程

作品名稱 製備超疏水性修飾石墨烯海綿應用於廢油
回收

得獎獎項 大會獎：四等獎

就讀學校 臺北市立第一女子高級中學

指導教師 許名智、張煥宗

作者姓名 王品方、吳昀軒

關鍵詞 石墨烯、超疏水性、海綿

作者簡介



我們是北一女中數理資優班的王品方與吳昀軒。高三的我們對科學充滿嚮往，因此我們到臺大化學系的實驗室進行專題研究。

感謝臺大化學系張煥宗教授，除了讓我們在他的實驗室做研究外，也讓我們學到了很多知識。還有一直協助我們進行實驗、給予我們建議的林于鈞學長。最後是專研老師許名智老師，在專研的路上對我們的照顧與幫助，因為有他們我們才能站上國際科展的舞台！

摘 要

本研究使用聚胺基甲酸酯海綿為基材，藉由在表面吸附石墨烯材料使海綿具有超疏水性，使其能從水中有效分離出油類，達到油水分離的效果。我們研究出簡易自製氧化石墨烯的方法，並使用自創的照紫外光乙醇法將其還原成還原氧化石墨烯，接著吸附在海綿上，再使用十三氟辛基三乙氧基矽烷修飾石墨烯海綿，使其鍵結上具有超疏水性官能基。藉由測量海綿表面與水珠間的接觸角，我們找出了製做超疏水性海綿的最佳條件，最終完成了矽烷修飾還原氧化石墨烯聚胺基甲酸酯海綿(FS-rGO-PU Sponge)。

本研究超疏水性海綿的製程簡易、成本低且符合綠色化學，同時具有單位體積吸油量大，可多次重複使用等優點，我們除了測試其對食用油、礦物油的回收能力，並製作成可連續分離油水的裝置，可應用在工業、家庭廢油及海上油汙的回收，甚至可做為空氣清淨機或排油煙機的濾網。

Abstract

Recycling waste-oil with creation of Superhydrophobic Graphene Sponge

In this study, Superhydrophobic Graphene Sponge was created by using polyurethane sponge as the substrate and adsorbing graphene material on its surface. This makes it capable of effectively separating oil from water. We have developed a simple method of making Graphene Oxide (GO), and reduced it to Reduced Graphene Oxide (rGO) by using UV light and ethanol. Once the sponge absorbs rGO, it will be modified with Perfluorooctyl trimethoxy silane (FS), and there will be some superhydrophobic functional groups on its bond. By measuring the contact angle between the sponge surface and water droplets, we have found the best condition of making superhydrophobic sponges, and ultimately completed FS-rGO-PU Sponge.

Our creation of the superhydrophobic sponge is simple, low-cost, and conforms to green chemistry. Furthermore, it has a large oil absorption per unit volume and can be reused. In addition to testing its ability to recover edible oil and mineral oil, it can be used in continuous oil-water separating devices, and is applicable to the recycle of industrial, domestic waste oil and marine oil, and even filtering for air purifiers or range hoods.

一、前言

(一)、研究動機

自工業革命以來，人類對於自然資源的消耗日益加劇，然而在越來越好的生活水平之中，許多人卻不知道這些物質生活已經對環境造成了汙染。從工業用油，到家裡煮飯時會使用的食用油，都會對環境造成破壞。現今工業汙染已經是個需要被正視的問題，但處理這些汙染並不是想像中這麼容易的。




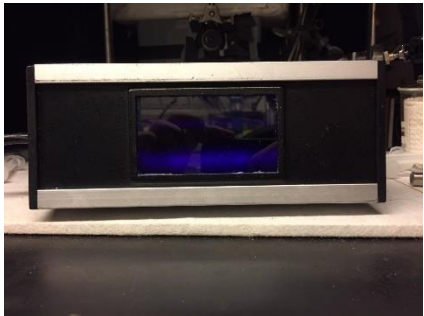
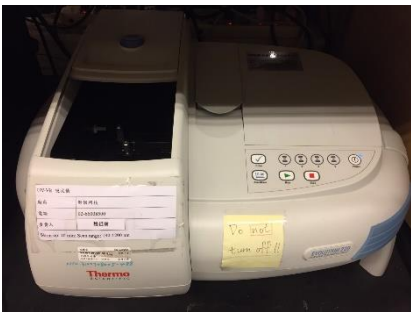
除了日常用油，海洋的漏油汙染也引起了嚴重的生態問題。因此低成本、有效和高速回收漏油的方法是非常重要的。然而，現有的除汙方法中，許多加工步驟、繁瑣的預處理和生產吸附劑的高成本是有問題的。而具有疏水表面、大表面積和高機械強度的石墨烯已成為用於去除油污有前途的吸收劑之一。透過簡單的物理吸附能有效地去除髒汙，達到低成本卻有效的功用。

(二)、研究目的

1. 探討自製石墨烯的最佳簡易方法
2. 探討最佳條件製成官能基修飾石墨烯海綿
3. 測試超疏水性海綿的疏水性及吸油性
4. 將超疏水性海綿製作成具親油性通道海綿並進行除油汙測試

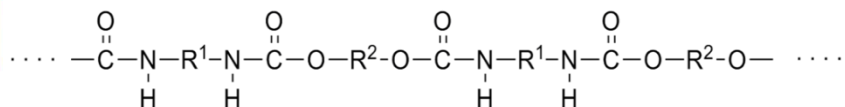
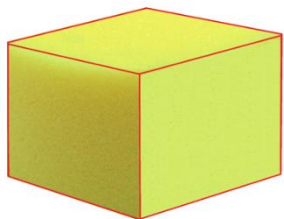
二、研究方法或過程

(一) 研究設備

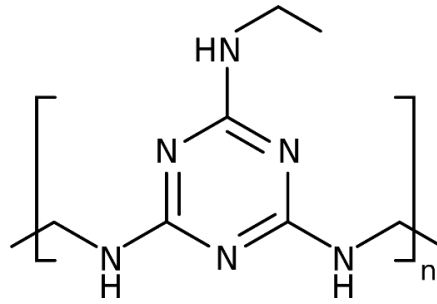
超音波震盪儀	離心機	單輸出直流電源供應器
		
紫外光燈(UV lamp)		光譜分析儀(UV-Vis 吸收儀)
		

(二) 研究器材

1. 聚胺基甲酸酯(Polyurethane)海綿 (圖一)
2. 三聚氰胺甲醛樹脂(Melamine)海綿 (圖二)
3. 微量移液器(pipette)
4. 25 mL 注射筒
5. 石墨棒(取自廢棄 4 號乾電池)



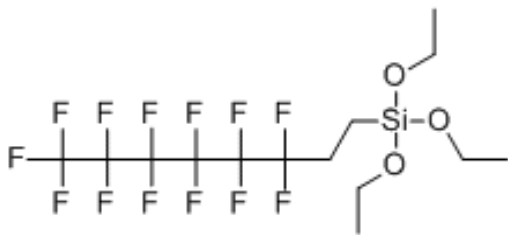
圖一：聚胺基甲酸酯(PU)海綿



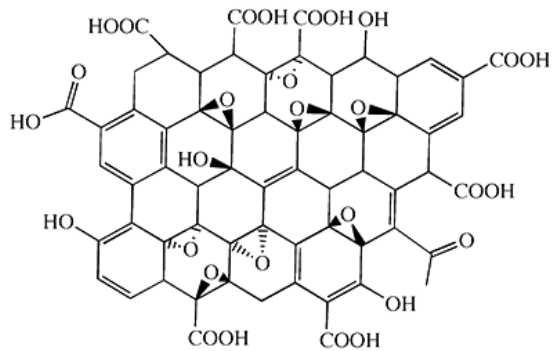
圖二：三聚氰胺甲醛樹脂(Melamine)海綿

(三) 藥品

1. 十三氟辛基三乙氧基矽烷 ($C_{14}H_{19}F_{13}O_3Si$) (圖三)
2. 氧化石墨烯 (Graphene Oxide) (圖四)
3. 天然石墨粉 (C)
4. 甲醇 (CH_3OH)
5. 氟化鋰 (LiF)
6. 氯化鈉 (NaCl)
7. 海水



圖三：十三氟辛基三乙氧基矽烷
($C_{14}H_{19}F_{13}O_3Si$)

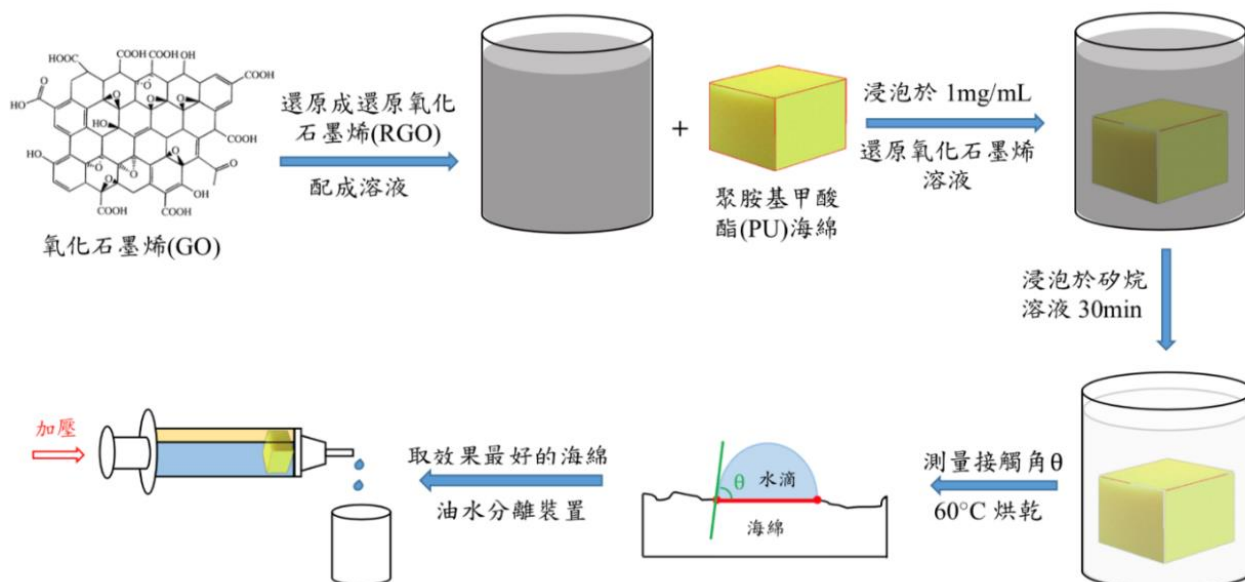
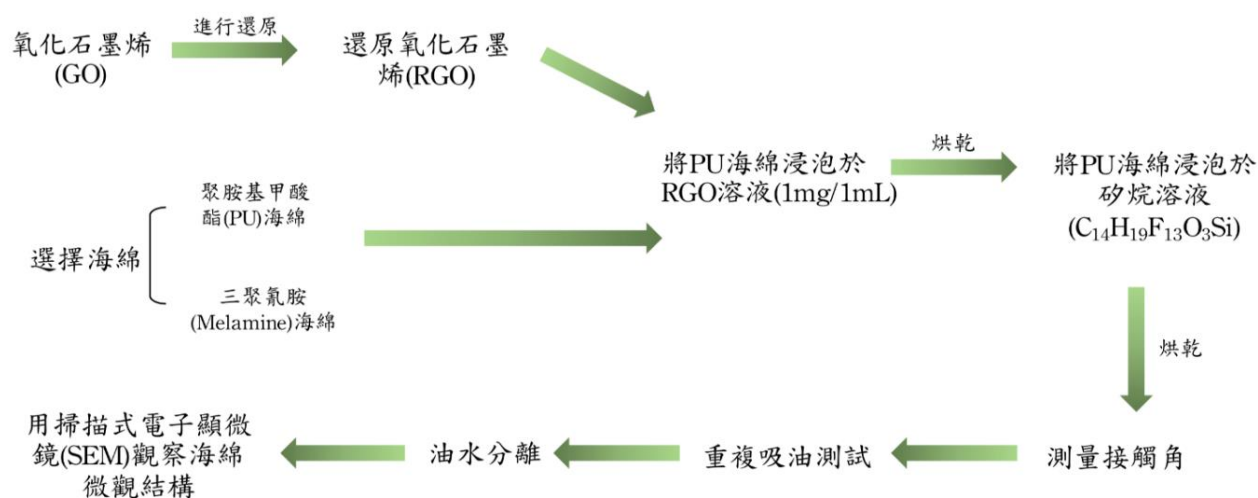


圖四：氧化石墨烯
(Graphene Oxide)

(四) 研究方法

1. 自製石墨烯方法之探討
2. 選用及製備超疏水性修飾石墨烯海綿
3. 超疏水性修飾石墨烯海綿的疏水測試及微結構分析
4. 超疏水性修飾石墨烯海綿應用於油水分離

(五)、研究流程



三、研究步驟

(一) 自製石墨烯

1. 石墨粉超聲波震盪法

- (1) 將 20mg 石墨粉加入 100mL 的水中，緩緩攪拌。
- (2) 將上述溶液以 30%強度超聲波震盪 30 分鐘。
- (3) 在 20°C下將上述溶液以 500rpm 進行離心 90 分鐘，取出上層液。

2. 石墨粉加氟化鋰超聲波震盪法

- (1) 將 30mg 石墨粉與 60mg LiF 粉末加入 150mL 的水中，緩緩攪拌。

(2) 將上述溶液以 30%強度超聲波震盪 30 分鐘。

(3) 在 20°C下將上述溶液以 500rpm 進行離心 90 分鐘，取出上層液。

3. 電解海水法

(1) 拆解回收廢棄 4 號乾電池，取出石墨棒電極。

(2) 取出石墨棒作為電極，電源供應器電壓調至 10 伏特，電解 40mL 海水 120 分鐘。

(3) 將電解後的混合液以轉速 10000rpm 離心 10 分鐘，以微量移液管抽出上層液，留下離心管底部的石墨烯沉澱。

(4) 取出氧化石墨烯溶液置於液態氮中凍乾。

4. 電解氯化鈉溶液法

(1) 拆解回收廢棄 4 號乾電池，取出石墨棒電極。

(2) 將 2.32g NaCl 加入 40mL 的水中，配製成 1M 的氯化鈉溶液。

(3) 取出石墨棒作為電極，電源供應器電壓調至 10 伏特，電解 40mL 的 1M 氯化鈉溶液 120 分鐘。

(4) 將電解後的混合液以轉速 10000rpm 離心 10 分鐘，以微量移液管抽出上層液，留下離心管底部的石墨烯沉澱。

(5) 取出氧化石墨烯溶液置於液態氮中凍乾。

(二) 挑選海綿備用

1. 選用海綿

(1) 選用市面上常見的兩種海綿：三聚氰胺甲醛樹脂(Melamine)海綿、聚胺基甲酸酯(PU)海綿。

(2) 將三聚氰胺甲醛樹脂海綿和聚胺基甲酸酯海綿浸泡在 50mL 沙拉油中 1 分鐘。

(3) 取出並擠壓海綿將油擠出，測量兩種海綿的形變大小。

2. 準備海綿

(1) 將 PU 海綿裁切至 2×4×3 公分之立方方塊後浸泡於 70%乙醇中 10 分鐘。

(2) 將海綿取出，以厚紙巾壓乾後，將其浸泡於純水中 10 分鐘洗淨。

(3) 將海綿取出並置入烘箱中在 50°C 下烘乾。

(4) 將海綿裁切成四等份，成為 2×2×1.5 公分之立方方塊。

(三) 配製氧化石墨烯(GO)溶液與還原氧化石墨烯(rGO)溶液

1. 配製自製氧化石墨烯(GO)溶液

秤取凍乾的氧化石墨烯粉末 100 毫克，加入 100mL 去離子水中，配置成 1mg/mL 溶液。

2. 配製自製的還原氧化石墨烯(rGO)溶液

(1) 取自製氧化石墨烯(GO)溶液，超聲波震盪後分裝至 6 個 2 mL 的離心管。

(2) 以轉速 10000rpm 離心 10 分鐘，取出上層 0.5mL 的水。

(3) 用 365nm 紫外光燈照光 2 小時。

(4) 加入無水乙醇 0.5mL，再以轉速 10000rpm 離心 10 分鐘。

(5) 取出上層混合液 1.7mL，再加入 1.7mL 純水，離心，超聲波震盪 30 分鐘。

(6) 重複(4)後，將上層液取出，再加入 1.7mL 純水。

(四) 製備石墨烯海綿及疏水性測試

1. 製備氧化石墨烯(GO)海綿

(1) 取濃度 1mg/mL 氧化石墨烯(GO)溶液 12mL。

(2) 將 PU 海綿浸泡於氧化石墨烯(GO)溶液中，取出海綿放入烘箱烘乾。

2. 製備還原氧化石墨烯(rGO)海綿

(1) 取濃度 1mg/mL 還原氧化石墨烯(rGO)溶液 12mL。

(2) 將 PU 海綿浸泡於還原氧化石墨烯(rGO)溶液，取出海綿放入烘箱烘乾。

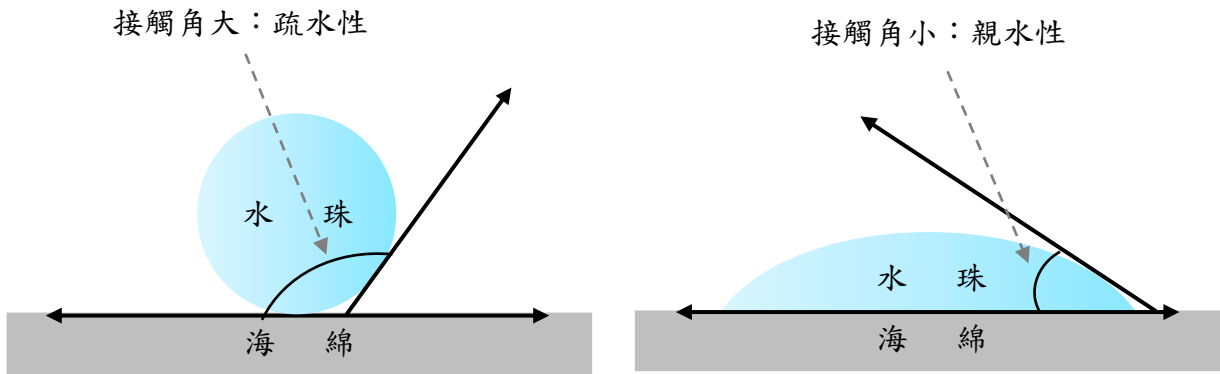
3. 疏水性測試

(1) 滴一滴水於海綿表面。

(2) 拍攝海綿與液滴的照片。

(3) 利用 imageJ 軟體分析液滴與接觸表面的夾角。

(4) 由接觸角大小判斷疏水性大小，接觸角愈大則疏水性愈佳。



圖五：接觸角示意圖

(五) 比較自製氧化石墨烯與市售氧化石墨烯修飾海綿的差異

1. 配製市售氧化石墨烯(GO)溶液
 - (1) 市售石墨烯(GO)溶液的濃度為 0.5mg/mL
 - (2) 取 24mL 的市售石墨烯(GO)置入烘箱內烘乾
 - (3) 烘乾後再加入 12mL 的去離子水
2. 重複步驟(三)及步驟(四) 製備修飾還原氧化石墨烯海綿並進行疏水性測試。

(六) 製備氟烷矽氧修飾還原氧化石墨烯海綿及疏水性測試

1. 配製 $C_{14}H_{19}F_{13}O_3Si$ 溶液(簡稱 FS 溶液)
 - (1) 取 1.6 mL FS 加入 14.4 mL 甲醇，配成 10% FS 甲醇溶液。
 - (2) 同步驟(1)，依照下表所列體積分別再配製 15%、20%、25% FS 甲醇溶液。

體積百分濃度	10%	15%	20%	25%
FS 體積(mL)	1.6	2.4	3.2	4.0
CH ₃ OH 體積(mL)	14.4	13.6	12.8	12.0

2. 將還原氧化石墨烯海綿浸泡於不同濃度的 FS 溶液中 30 分鐘。
3. 將海綿取出並置入烘箱中在 50°C 下烘乾。
4. 同步驟(四)-3，進行疏水性測試。

(七) 超疏水性修飾石墨烯海綿的親油性測試與微結構分析

1. 重複吸油測試

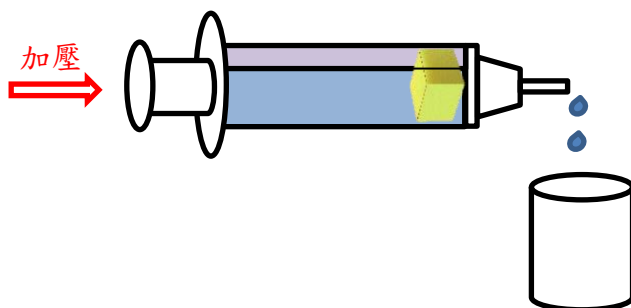
- (1) 取 250 mL 燒杯並裝入 70mL 油(沙拉油、機油.....)，將超疏水性石墨烯海綿浸入油中直到海綿吸滿油。
- (2) 用鑷子夾起海綿，讓多餘油自然滴落，至不再滴油。
- (3) 擠壓海綿，秤擠出油的重量。
- (4) 用同一塊海綿，重複上述步驟多次。
- (5) 測量吸油前後海綿的體積變化。

2. 微結構分析

- (1) 將修飾前後海綿切成薄片後置入掃描式電子顯微鏡(SEM)觀察。
- (2) 比較修飾前後海綿的結構差異。

(八) 超疏水性修飾石墨烯海綿應用於油水分離

1. 油水分離裝置



- (1) 取 2.0 mL 去離子水與 18.0 mL 油混合。
- (2) 將海綿塞入 25mL 針筒底部，並將油水混合液置入針筒中。
- (3) 慢慢施壓活塞推進至碰觸海綿，將擠出的液體離心，觀察是否分層。
- (4) 將海綿完全擠乾，再將擠出的液體離心，觀察是否分層。

2. 改變油的種類

- (1) 將上述油換成各種油品，包括機油、沙拉油、實驗室有機溶劑等。
- (2) 利用油水分離裝置測試分離效果。

四、研究結果與討論

(一) 自製石墨烯

表一：各種製備石墨烯方法的結果比較

方法	石墨粉超聲波震盪法		石墨棒電解剝離法	
	純水	LiF 溶液	海水	1M NaCl 溶液
現象	澄清液	澄清液	黑色混濁溶液 有懸浮物	黑色混濁溶液
產量	小於 5mg	小於 5mg	約 120mg	約 120mg


[討論]

1. 石墨棒電解剝離法的產量遠大於石墨粉超聲波震盪法，電解完的溶液變黑色混濁且碳棒消耗變細，利用 4 根 4 號電池的石墨棒做為電極，電壓 10.0 伏特，電解 2 小時就能剝離出 120 mg 的氧化石墨烯。
2. 石墨棒電解剝離法中使用兩種不同的電解液做比較，以使用氯化鈉溶液優於使用海水，電解海水後的溶液中有較多的雜質懸浮物，由吸光光譜可看出其雜質訊號多，經多次離心仍難以完全去除雜質。而電解氯化鈉溶液，只要多次離心純化電解液，就能得到較純的氧化石墨烯。因此後續的實驗中，我們都使用石墨棒電解氯化鈉法自製氧化石墨烯。
3. 一般實驗室常用做為電極的碳棒比重較小，表面較光滑，雖然能導電，但用來電解氯化鈉溶液時，並沒有石墨片剝落，而市售乾電池中的石墨棒比重較大，電解氯化鈉溶液時，有大量的石墨片剝落。本研究為了環保與低成本，使用回收乾電池中的碳棒。

(二) 挑選海綿備用

1. 比較三聚氰胺甲醛樹脂海綿、聚胺基甲酸酯海綿吸油後的形變大小。

表二：兩種材質海綿吸油後的形變比較

種類	三聚氰胺甲醛樹脂海綿	聚胺基甲酸酯海綿
原邊長(cm)	2 x 2 x 1.5	2 x 2 x 1.5
擠壓後邊長(cm)	1.8 x 1.8 x 1	2 x 2 x 1.5
照片		

[討論]

1. 彈性比較

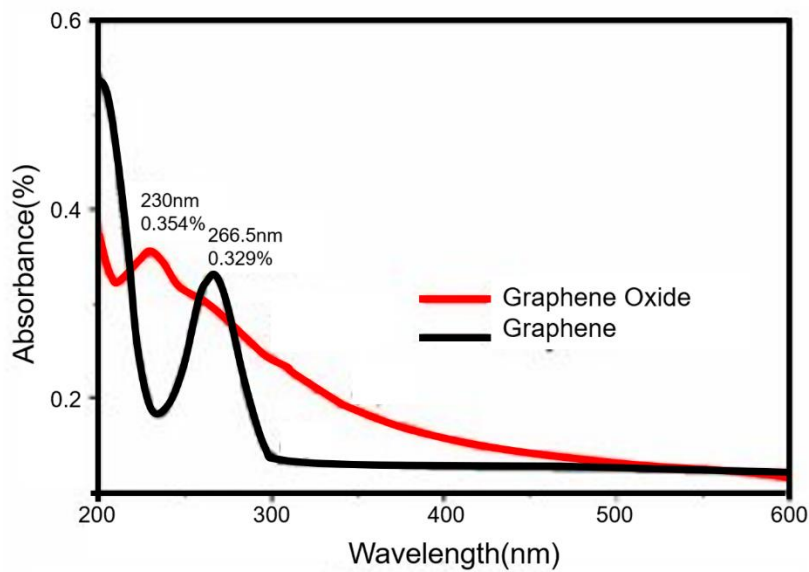
由表二結果得知三聚氰胺甲醛樹脂海綿吸油再擠壓後，產生永久形變無法回復原狀，影響重複吸油效果；而聚胺基甲酸酯海綿完全可以恢復原狀，因此接續實驗全採用聚胺基甲酸酯海綿。

2. 為何選用原本親水性的海綿，改造為疏水性的修飾海綿？

雖然海綿原為親水性材質，但由於其具備孔隙大且彈性好的特性，只要經過適當的修飾改造，非常適合用來吸油。市面上許多吸油產品(例如吸油面紙)沒有如此良好的彈性，雖然吸油效果好，但只能單次使用，不易將油回收，徒增廢棄物。

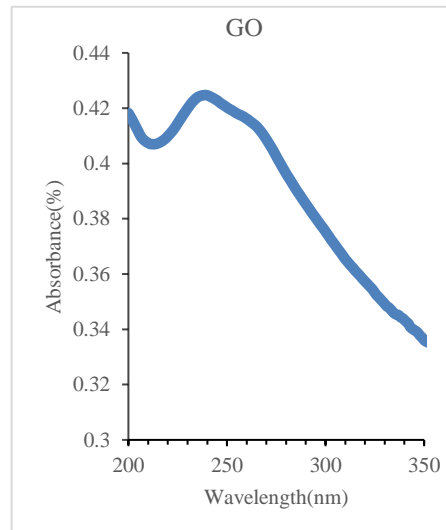
(三) 自製氧化石墨烯(GO)與還原氧化石墨烯(rGO) 的光譜分析

1. 文獻上石墨烯的吸光光譜分析



圖六：參考文獻上氧化石墨烯、還原氧化石墨烯的吸光光譜

2. 自製氧化石墨烯(GO)的吸光光譜分析

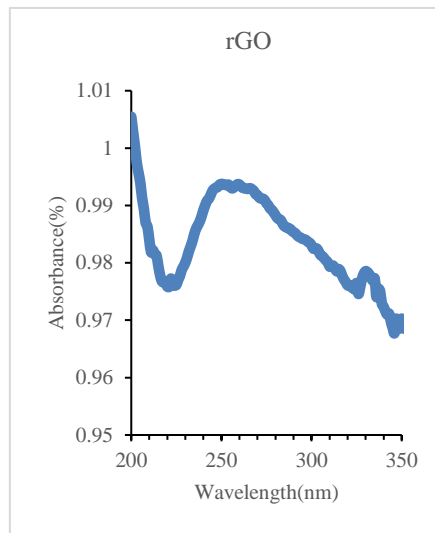
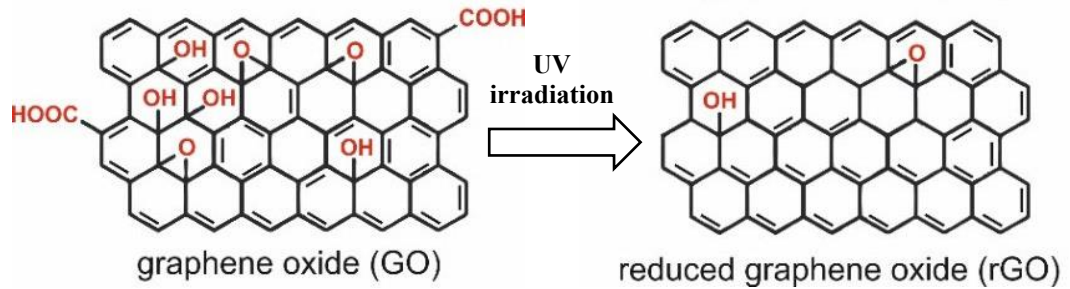


圖七：自製氧化石墨烯吸光光譜

[討論]

1. 比較圖六、圖七可發現自製氧化石墨烯(GO)在 230nm 與文獻上有相同的吸收峰，證明我們成功製備出氧化石墨烯(GO)。
2. 將氧化石墨烯(GO)轉為還原氧化石墨烯(rGO)的方法如下：

- (1) 使用聯胺、氫碘酸、抗壞血酸等還原劑，具有毒性，且難以純化分離。
- (2) 照紫外光，不用外加藥品，環保且方便。




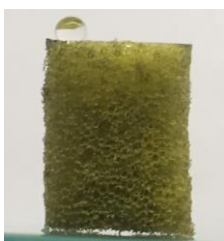
圖八：自製還原氧化石墨烯(rGO)吸光光譜圖

3. 比較圖六、圖八可發現自製還原氧化石墨烯(rGO)跟文獻上一樣約在 260nm 有相同的吸收峰，證明我們成功將氧化石墨烯(GO)還原成還原氧化石墨烯(rGO)。
4. 照紫外光法使氧化石墨烯(GO)上原有較高氧化態的官能基剝落，因此在溶液中會殘留氧化態物質，照光後一段時間，殘留的氧化態物質又將石墨烯氧化，為了解決這個問題，我們在照光後加入乙醇，讓乙醇還原氧化態物質而去除它，實驗結果證明我們創新的照紫外光乙醇法是最環保的可行方法。

(四) 石墨烯修飾海綿的疏水性測試

1. 比較海綿浸泡 3 小時氧化石墨烯(GO) 溶液、還原氧化石墨烯(rGO)溶液的接觸角。

表三：疏水性(接觸角)與浸泡石墨烯種類(GO 或 rGO)的關係


石墨烯種類	氧化石墨烯(GO)	還原氧化石墨烯(rGO)
接觸角	106°	117.2°
照片		

[討論]

1. 由表三得知分別用 GO 和 rGO 修飾的兩種海綿接觸角差異很大，浸泡 rGO 的海綿疏水性遠大於浸泡 GO 的海綿，因為將 GO 還原成 rGO 後，其結構上的親水性官能基變少了。

(五) 比較自製還原氧化石墨烯與市售氧化石墨烯修飾海綿的差異

表四：海綿浸泡 3 小時自製與市售還原氧化石墨烯的疏水性比較


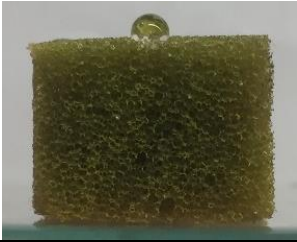
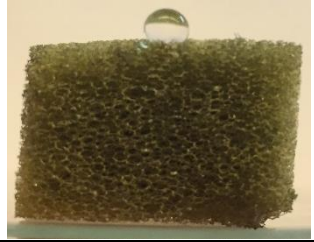



石墨烯種類	市售還原氧化石墨烯	自製還原氧化石墨烯
接觸角	117.6°	117.2°
照片		

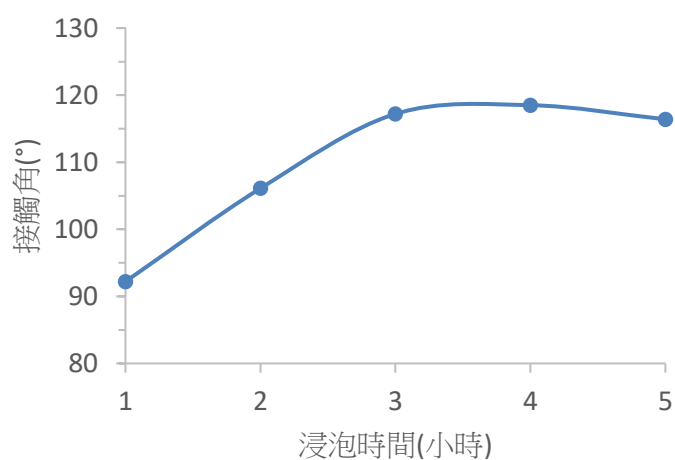
[討論]

1. 由表四結果得知，無論是自製的還原氧化石墨烯或是市售的還原氧化石墨烯修飾所製成的海綿，水與兩者的接觸角幾乎相等，也就是兩種海綿的疏水性差異不大，因此我們可用自製的氧化石墨烯代替購買市售的氧化石墨烯，達到降低成本的目的。

(六) 還原氧化石墨烯海綿的疏水性測試

表五：浸泡 1mg/mL 還原氧化石墨烯(rGO)溶液的時間對接觸角的影響。

浸泡時間	1 小時	2 小時	1+1 小時
接觸角	92.2°	106.1°	116.2°
照片			
浸泡時間	3 小時	4 小時	5 小時
接觸角	117.2°	118.5°	116.5°
照片			








圖九：接觸角與浸泡 rGO 溶液時間的關係

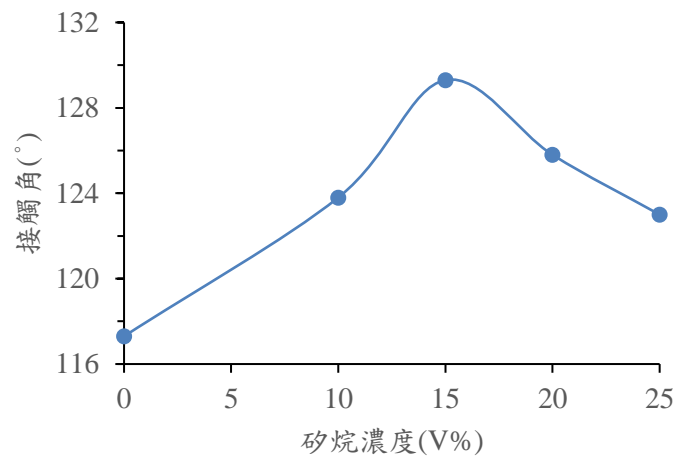
[討論]

1. 由圖九得知，隨著浸泡還原氧化石墨烯溶液的時間愈久，海綿的疏水性愈大，接觸角也愈大，但浸泡 3 小時之後，接觸角開始增幅縮小，所以浸泡 3 小時效率最高。

(七) 矽烷修飾還原氧化石墨烯海綿的疏水性測試

表六：浸泡 FS-甲醇溶液 30 分鐘，比較矽烷(FS)濃度對接觸角的影響。

矽烷濃度 (V%)	0	10%	15%
接觸角	117.3°	123.8°	129.3°
照片			
矽烷濃度 (V%)	20%		25%
接觸角	125.8°		123°
照片			



圖十：接觸角與浸泡 FS 溶液濃度的關係

[討論]

1. 浸泡 FS 溶液進行官能基修飾聚胺基甲酸酯海綿，隨著 FS 溶液濃度愈大，接觸角先是跟著愈大，但當 FS 濃度為 15% 時，接觸角達最大值，之後 FS 濃度再增加，接觸

角卻變小。這是因為當吸附 FS 到一定量時，海綿上可鍵結的位置已接近飽和，較厚的塗層反而導致海綿的疏水性和彈性皆降低。

2. 還原氧化石墨烯表面還是有一些親水性官能基存在，矽烷(FS)可以與這些官能基鍵結，使其由親水性變成疏水性，所以先用還原氧化石墨烯來修飾海綿，再用矽烷修飾還原氧化石墨烯，最後製成超疏水性修飾石墨烯海綿。

(八) 超疏水性修飾石墨烯海綿的親油性測試

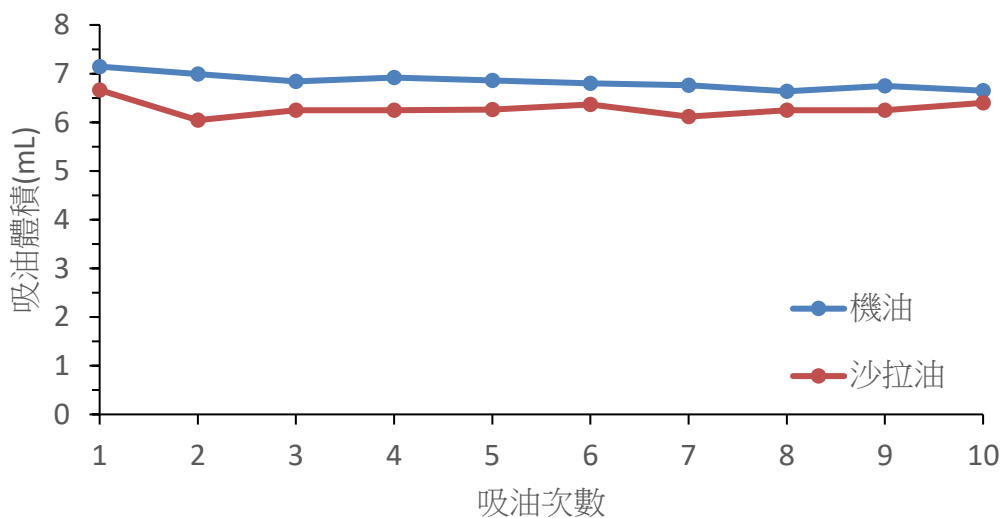
1. 重複吸油測試

表七：機油親油性測試

吸油次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
海棉乾重(g)	0.18	0.58	0.67	0.61	0.64	0.65	0.79	0.79	0.82	0.85	0.658
吸油體積(mL)	7.14	6.99	6.84	6.91	6.86	6.80	6.77	6.63	6.75	6.64	6.833
擠出體積(mL)	6.63	6.87	6.84	6.87	6.86	6.44	6.77	6.59	6.71	6.64	6.722

表八：沙拉油親油性測試

吸油次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
海棉乾重(g)	0.19	0.64	0.69	0.8	0.65	0.67	0.71	0.71	0.74	0.74	0.654
吸油體積(mL)	6.66	6.04	6.25	6.25	6.26	6.36	6.11	6.25	6.25	6.40	6.283
擠出體積(mL)	6.17	5.98	6.13	6.25	6.23	6.32	6.11	6.21	6.25	6.38	6.203



圖十一：吸油體積隨著吸油次數變化的關係圖

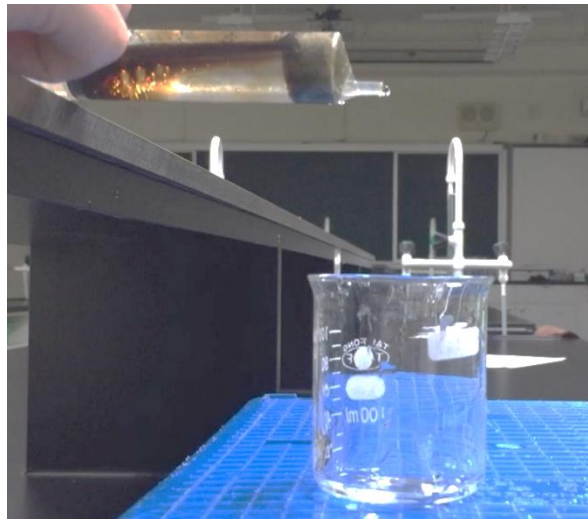
[討論]

1. 由表中可以發現，海綿吸油與擠出的量差異不大，說明殘留在海綿中的油只有少量。而(FS-rGO-PU-Sponge)海綿可以吸收超過本身體積 6 立方公分的油量，有良好的吸油效果。
2. 由圖十一得知，海綿每次吸油的體並不隨著吸由次數而下降，也就是重複吸油性非常好。

(九) 超疏水性修飾石墨烯海綿應用於油水分離的測試

表九：機油與沙拉油油水分離測試

油品種類	海綿擠出油體積(mL)	海綿擠出水體積(mL)	過濾後的溶液
機油	1.9	0.2	澄清無色，無油滴
沙拉油	1.8	0.3	無色，有少許油滴



圖十二：油水分離裝置圖

[討論]

1. 由表九得知，油水混合液經過油水分離裝置之後，幾乎是澄清的純水，而原本 2mL 的機油或沙拉油也回收了 90% 以上的水。

五、結論與應用

(一)結論

1. 因為石墨烯價格昂貴且稀少，本實驗也不需要太高等級的石墨烯，我們以回收廢電池的石墨棒電解氯化鈉水溶液，純化後得到足量的凍乾氧化石墨烯粉末，並由吸光光譜確認產物是氧化石墨烯。
2. 因為三聚氰胺甲醛樹脂海綿經擠壓後無法回復原狀，影響重複使用的吸油效果，因此我們使用聚胺基甲酸酯海綿(PU-Sponge)作為基材，將其從親水性改造成疏水性，但仍保有很好的彈性。
3. 由測量接觸角得知，浸泡我們自製的氧化石墨烯與市售的氧化石墨烯的海綿，兩者的疏水性幾乎沒差異，而吸附還原氧化石墨烯的海綿(rGO-PU-Sponge)比吸附氧化石墨烯的海綿(GO-PU-Sponge)疏水性好很多。
4. 我們自創照紫外光乙醇法，成功地將氧化石墨烯轉換成還原氧化石墨烯，比以往加還原劑法更環保且較易純化，並由吸光光譜確認產物是還原氧化石墨烯。
5. 隨著浸泡還原氧化石墨烯溶液的時間愈久，海綿的疏水性愈大，接觸角也愈大，但浸泡 3 小時之後，接觸角的增幅開始縮小，所以浸泡 3 小時效率最高。
6. 浸泡十三氟辛基三乙氧基矽烷(FS)修飾還原氧化石墨烯海綿(FS-rGO-PU-Sponge)，以浸泡體積百分濃度 15% 的 FS 溶液，海綿的疏水性最佳，接觸角達 129.3°之大。
7. 我們自製的超疏水性海綿，每塊海綿體積僅 6cm³ 卻可吸收 6.8 mL 的廢機油或 6.2 mL 的沙拉油，且連續重複使用 10 次，吸油量幾乎沒有下降。
8. 我們設計製造出可連續分離油水的裝置，內有具親油性通道的海綿，油水混合液經此裝置後，僅水能通過，而油幾乎全被海綿吸附，因此可簡易處理廢油、油汙並回收再利用。

(二)未來發展與應用

1. 接續我們將用掃描式電子顯微鏡(SEM)來觀察超疏水性修飾石墨烯海綿的微結構，看海綿在吸油前後的微結構是否改變。

2. 本研究自製的超疏水性修飾石墨烯海綿，比其他吸油材料具有以下優點：

- (1) 製程符合綠色化學要求。
- (2) 成本低廉，材料取得容易。
- (3) 單位體積吸油量大，可重複使用。

3. 本研究自製的超疏水性修飾石墨烯海綿，未來的商業應用如下：

- (1) 處理回收工廠或實驗室的有機廢液，取代做為萃取用的有機溶劑。
- (2) 清理自然環境中的汙染，例如海上油汙、廚房廢油，回收再利用。
- (3) 回收氣體中的有機物或雜質，例如做為空氣清淨機或排油煙機的濾網。

六、參考資料(文獻)及其他

1. D.D.Nguyen, N.H.Tai, Y.L.Chuen, S.Y.Chen, Y.J.Chen, W.S.Kuo, T.W.Chou, C.S.Hsu, L.J.Chen. *Nanoscale* **2011**, 4,632-638
2. D.D.Nguyen, N.H.Tai, S.B.Lee, W.S. Kuo. *Energy & Environmental Science***2012**, 5, 7908-7912
3. R.J.Seresht, M.Jahanshahi, A.M.Rashidi, A.A.Ghoreyshi. *Iranic Journal of Energy & Environment* **2013**, 4,53-59
4. Syeda S. Abbas, Gregory J. Rees, Nicole L. Kelly, Claire E.J. Dancer, John V. Hanna, Tony McNally. *Nanoscale* **2018**, 10,16231
5. Arshad Hussain Wazir, Imran Waseem Kundi. *ResearchGate* **2016**, *J.Chem.Soc.Pak* 38 11-16
6. U. Khan, H. Porwal, A. O'Neill, K. Nawaz, P. May, J.N. Coleman. *Langmuir*, 27 (**2011**), pp. 9077-908

【評語】 200008

本研究以 FS 修飾石墨烯海綿，以應用於廢油之回收，在研究中自製 r-GO，再進行修飾以提昇其疏水性，研究成果佳，在資料呈現及口語表達上亦相當不錯。後續可於研究之創意上再多著墨，並加強研究紀錄之內容。