

2021 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

- 作品編號 160045
- 參展科別 物理與天文學
- 作品名稱 研發奈米片狀銀-石墨烯異質材料的創新製程
及其催化電解水產氫之應用
- 就讀學校 臺北市立第一女子高級中學
- 指導教師 謝雅萍、周芳妃
- 作者姓名 陳伊柔、趙宇婕
- 關鍵詞 異質材料、銀-石墨烯、電解水

作者簡介



我們是北一女中三年級的陳伊柔、趙宇婕。高一時，在好奇心及對於科學之熱忱的催使下加入了化專，並且很幸運的在升高二的暑假加入了一間很高級的大學實驗室，在周芳妃老師、謝雅萍教授及秦浩庭學長、李建章學長、陳義方學姊熱心的教導及協助下，我們一步步的成長、茁壯。此次的研究是許多個日夜、許多人共同努力而淬鍊出的成果，我們會更加努力的，謝謝大家。

摘要

金屬-石墨烯材料在異相催化電極應用被蓬勃研究，製程避免石墨烯破裂或氧化也深具挑戰。高應用價值的金屬-石墨烯必要條件是具低電阻，文獻中銀奈米線和石墨烯兩者組合時，可獲得優化導電性能，並可代替昂貴易碎的銻錫-石墨烯。本研究從紙上薄層實驗，確認銅銀共接具優良催化還原能力，進而採用銅銀共接及化學氣相沉積技術發展出創新簡潔製程，成功製得奈米片狀銀-石墨烯異相材料。本研究製得的奈米片狀銀-石墨烯保有優良導電性及可調變性，而且大大增加石墨烯的抗氧化性。將銀-石墨烯異相結構做為電極以催化水電解產氫，產氫速率又高於銅銀雙金屬電極。除此之外，石墨烯也成為銅銀雙金屬的保護機制，使雙金屬不會因多次使用而被氧化，性能上更具經濟價值。片狀銀-石墨烯具透明度，將應用為可撓式透明導電膜，在穿戴式元件與綠能開發具高應用價值。

Abstract

The application of metal-graphene materials in heterogeneous catalytic electrodes is a current research subject. The process of avoiding graphene cracking or oxidation is also a tough challenge. For application, metal-graphene with low resistance is necessary. In the literature, the optimized conductivity can be obtained when the silver nanowire structure and graphene are combined together. and nanowire silver combined with graphene can also replace the expensive and fragile indium-tin-graphene. In this study, a thin layer experiment on paper was conducted to confirm that copper-silver co-joining structure has excellent catalytic reduction ability. Copper-silver co-joining and chemical vapor deposition technology were used to develop an innovative and simple process, and then the nano-sheet silver-graphene heterogeneous materials were successfully prepared. The nano-sheet silver-graphene prepared in this research has excellent conductivity and tunability, and greatly increases the oxidation resistance of graphene. The silver-graphene heterogeneous structure is used as an electrode to catalyze water electrolysis to produce hydrogen, and the hydrogen production rate is higher than that of the copper-silver bimetal electrode. In addition, graphene has also become a protection mechanism for copper-silver bimetals, so that the bimetals will not be oxidized due to repeated use, and have more economic value in performance. Silver-graphene has transparency and will be used as a flexible transparent conductive film, which has high application value of being wearable components and green energy development.

一、前言

(一)、研究動機

金屬-石墨烯材料在異相催化電極應用是蓬勃研究課題，製程上避免石墨烯破裂或氧化也是深具挑戰。高應用價值的金屬-石墨烯必要條件是具低電阻，銀奈米片狀結構和石墨烯均為導電電極，當兩者組合時，可獲得優化導電性能，並可代替昂貴而易碎的銻錫-石墨烯。我們先前在學校進行薄層銅銀雙金屬的實驗，發現複合的金屬材料(銅銀共接)具有催化還原反應的優異能力，希望開發出具有綠能價值的石墨烯-銀異相結構，應用於以低耗能的方式催化水還原出氫氣。

因此，我們採用銅銀共接技術及化學氣相沉積技術，以簡易製程成功得到石墨烯-銀異相材料，進一步探討對於石墨烯導電性質的影響，增加石墨烯的抗氧化性及增加石墨烯導電度可調變性。

(三)、研究目的

1. 探討銅銀雙金屬催化石墨烯-銀製程的效應，並創新石墨烯-銀異相結構製程。
2. 量測石墨烯-銀與原始石墨烯之導電性的差異。
3. 研究石墨烯-銀有效催化以水產氫氣之還原反應。

二、研究方法或過程

(一)、研究設備及器材

1. 實驗儀器：

- (1) 化學氣相沉積儀(CVD)
- (2) 旋轉塗佈機
- (3) 小型真空蒸鍍機
- (4) 氧電漿清洗機
- (5) 顯為光學量測平台(OM)、掃描電子顯微鏡(SEM)
- (6) 加熱攪拌器
- (7) 表面光電壓光譜(APS)
- (8) 電流電壓特性量測儀器

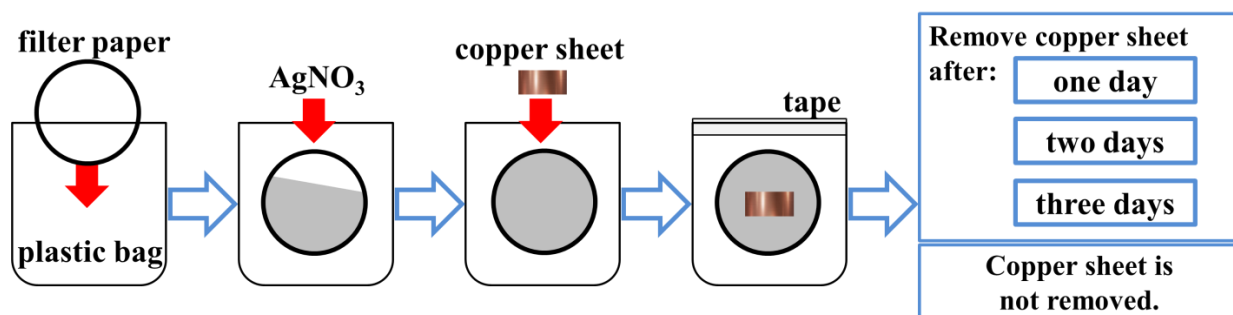
2. 實驗藥品與器材：

- (1) 長有石墨烯的銅箔
- (2) 酸性蝕刻液
- (3) 聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)
- (4) 去離子水(DI water)
- (5) 丙酮、異丙醇
- (6) 銀錠
- (7) 矽基版(SiO_2)、石英版

(二)、研究方法

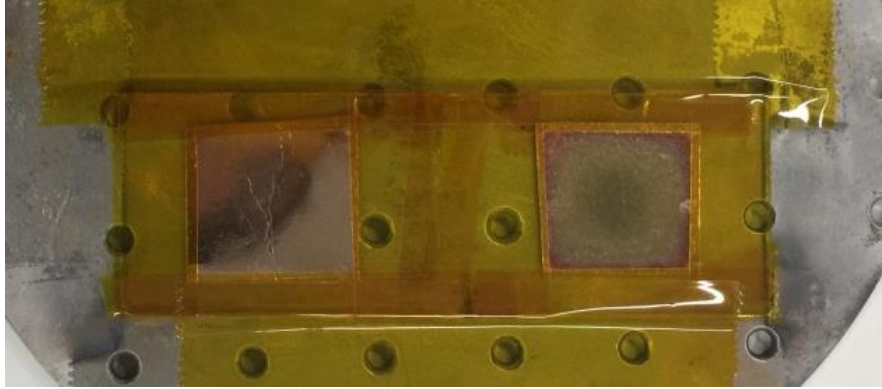
1. 前置實驗：

- (1) 配好硝酸銀溶液 0.1M。
- (2) 將所有塑膠袋拿出、排好，寫好標籤，並將濾紙平整的放入。
- (3) 將銅片以鹽酸清洗，再用清水沖淨並擦乾後，放入塑膠袋內濾紙的中心，後以膠帶封住塑膠袋的開口處。(製作四組)
- (4) 分別在一天、兩天及三天後取出三組樣本中的銅片，第四組則不做改變。
- (5) 定期觀察銅片浸鍍及金屬析出的情形，並分析結果。
- (6) 實驗流程圖：

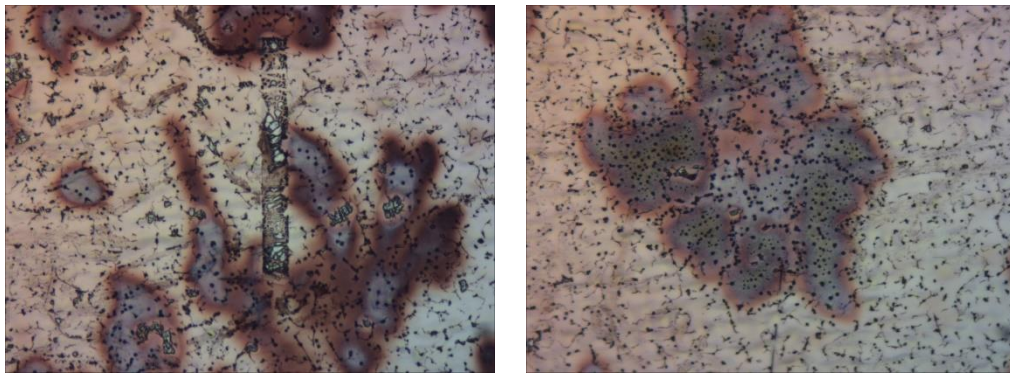


2. 處理長有石墨烯的銅箔：

- (1) 取數片已裁小之長好石墨烯(雙面皆有)的銅箔。
- (2) 用隔熱膠帶將其固定於玻片上。
- (3) 放入氧電漿清洗機，用氧電漿打掉其中一面的石墨烯。



(兩者皆為打完氧電漿之銅箔，右者原有石墨烯，左則無)



打完氧電漿之銅箔

3. 蒸鍍及擴散銀金屬：

- (1) 取出玻片，將其翻面後再次以隔熱膠帶固定。
- (2) 將玻片固定在小型真空蒸鍍機內，開始蒸鍍銀。
- (3) 把銅箔從波片取下，將其夾於兩片石英板之間，銀面朝下。
- (4) 放入 CVD 設定溫度(800°C)、時長(1hr、2hr、3hr)與通氣量(氫氣、氫氣)後，開啟 CVD，並等待。

4. 轉印石墨烯：

- (1) 將銅箔剪裁成小塊，用膠帶黏貼邊緣，以固定於塑膠片上。
- (2) 使用旋轉塗佈機，使其均勻塗上聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)。
- (3) 將塗好 PMMA 的材料置於加熱攪拌器上烘乾(65°C)。

- (4) 移除固定用之塑膠片，並將塗有 PMMA 的銅箔裁小。
- (5) 把 PMMA 面朝上，使銅箔水平漂浮於蝕刻液的液面。
- (6) 當銅完全被蝕刻掉(呈透明片狀)，換水兩次，每次 10 分鐘。
- (7) 將石墨烯平鋪於矽基板上，置於加熱攪拌器上烘乾(65°C)
- (8) 烘乾後置於溶液丙酮中(溶解 PMMA)，再用氮氣槍吹乾。

5. 觀察與表面資料及導電度之測定：

(1) 光學測量 (OM)：

用光學顯微鏡觀察銅箔和石墨烯的表面。

(2) 掃描電子顯微鏡 (SEM)：

分析銅箔表面的物質。

(3) 拉曼光譜法 (D 峰、G 峰和 2D 峰)：

判斷石墨烯的層數，缺陷和結構。

(4) 表面光電壓光譜 (APS)：

測量材料的功函數。

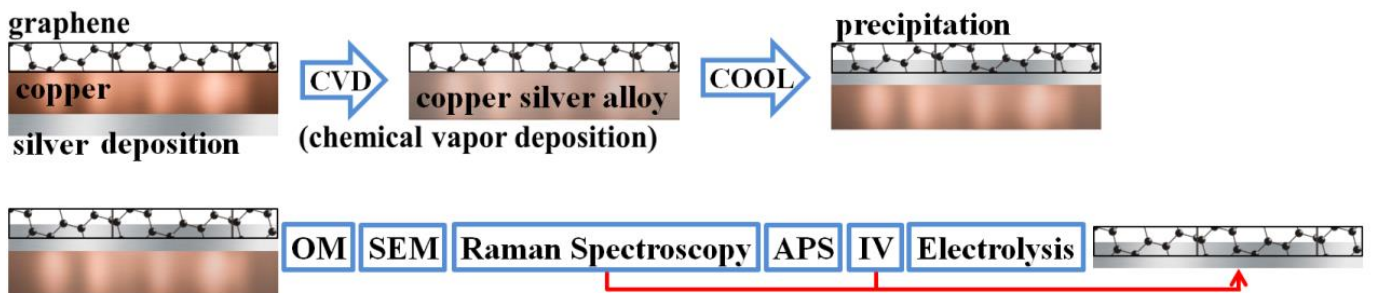
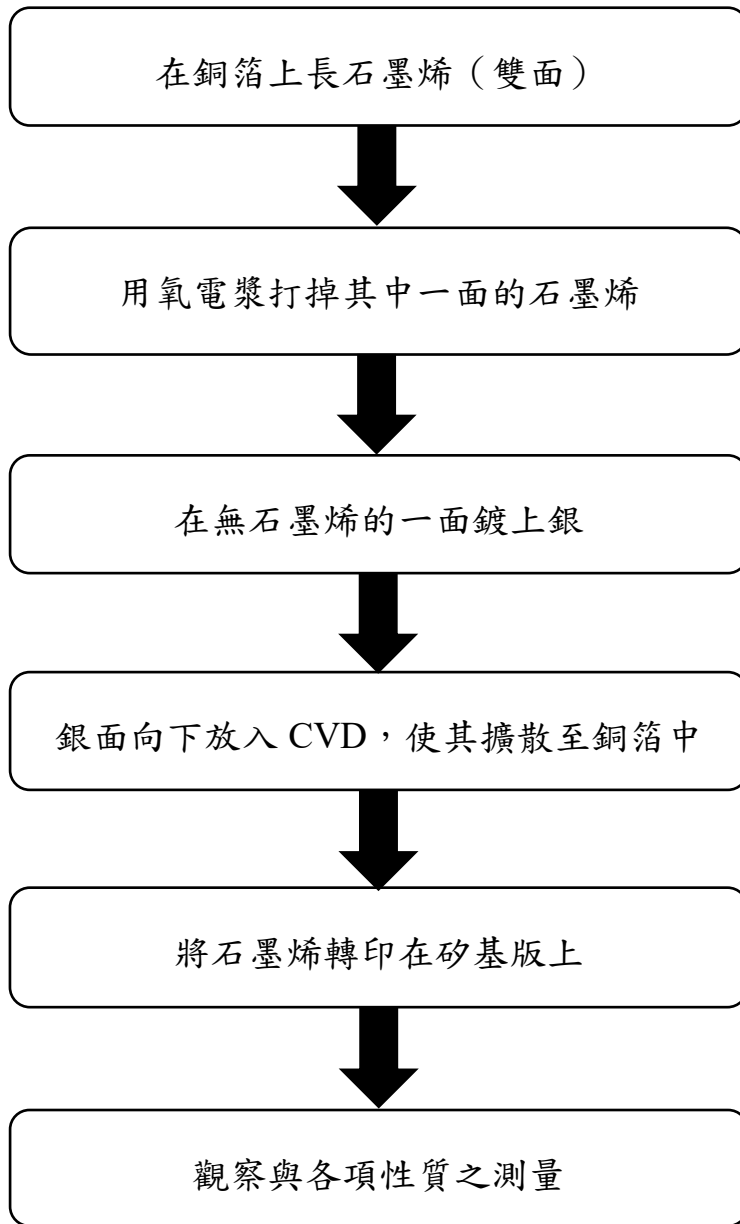
(5) 精密功率測量設備 (IV)：

測量石墨烯的導電性。

(6) 電解 (Electrolysis)：

量測樣品之產氫能力。

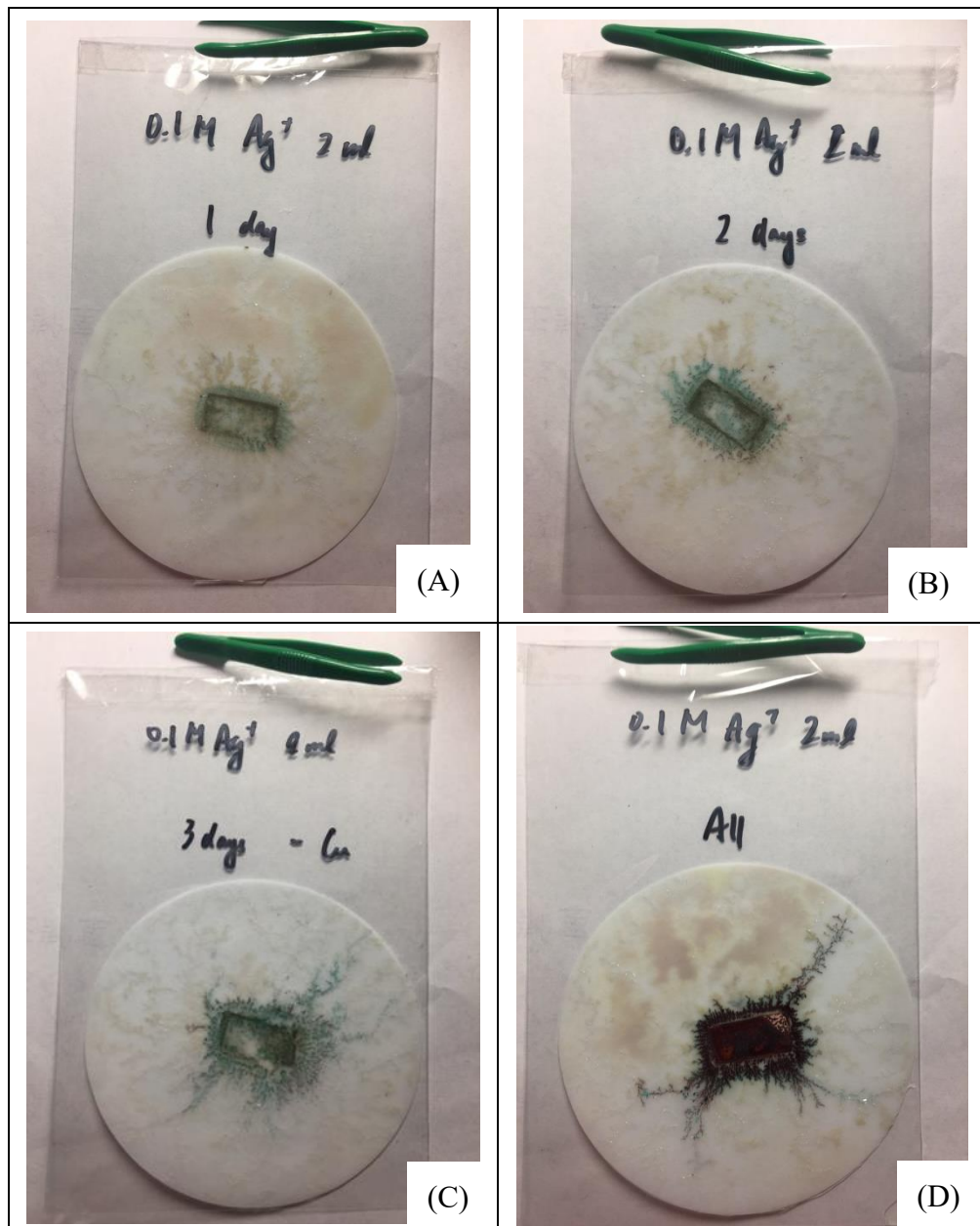
6. 實驗流程圖：



三、研究結果與討論

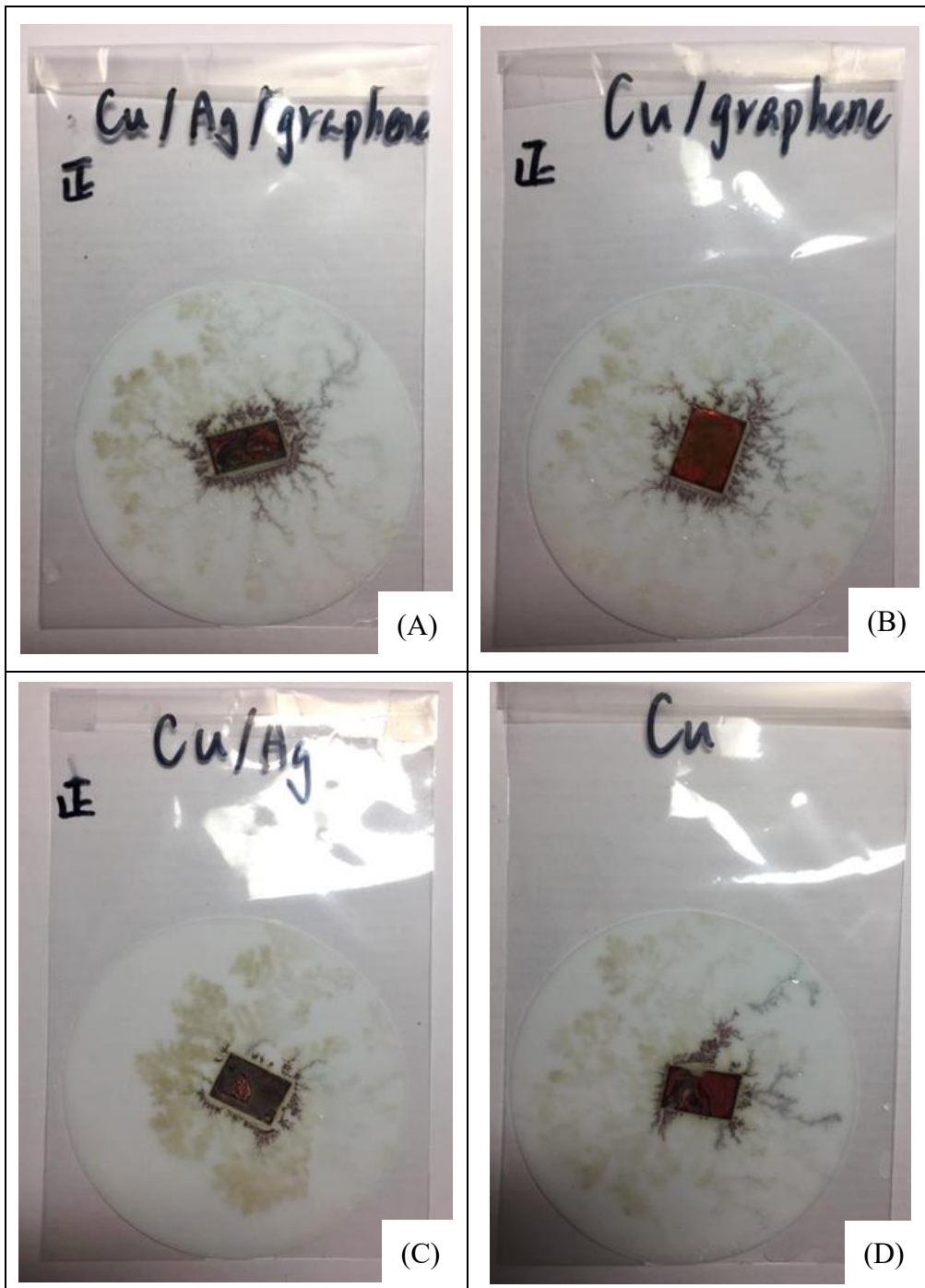
(一)、研究結果

1. 前置實驗 (圖一)



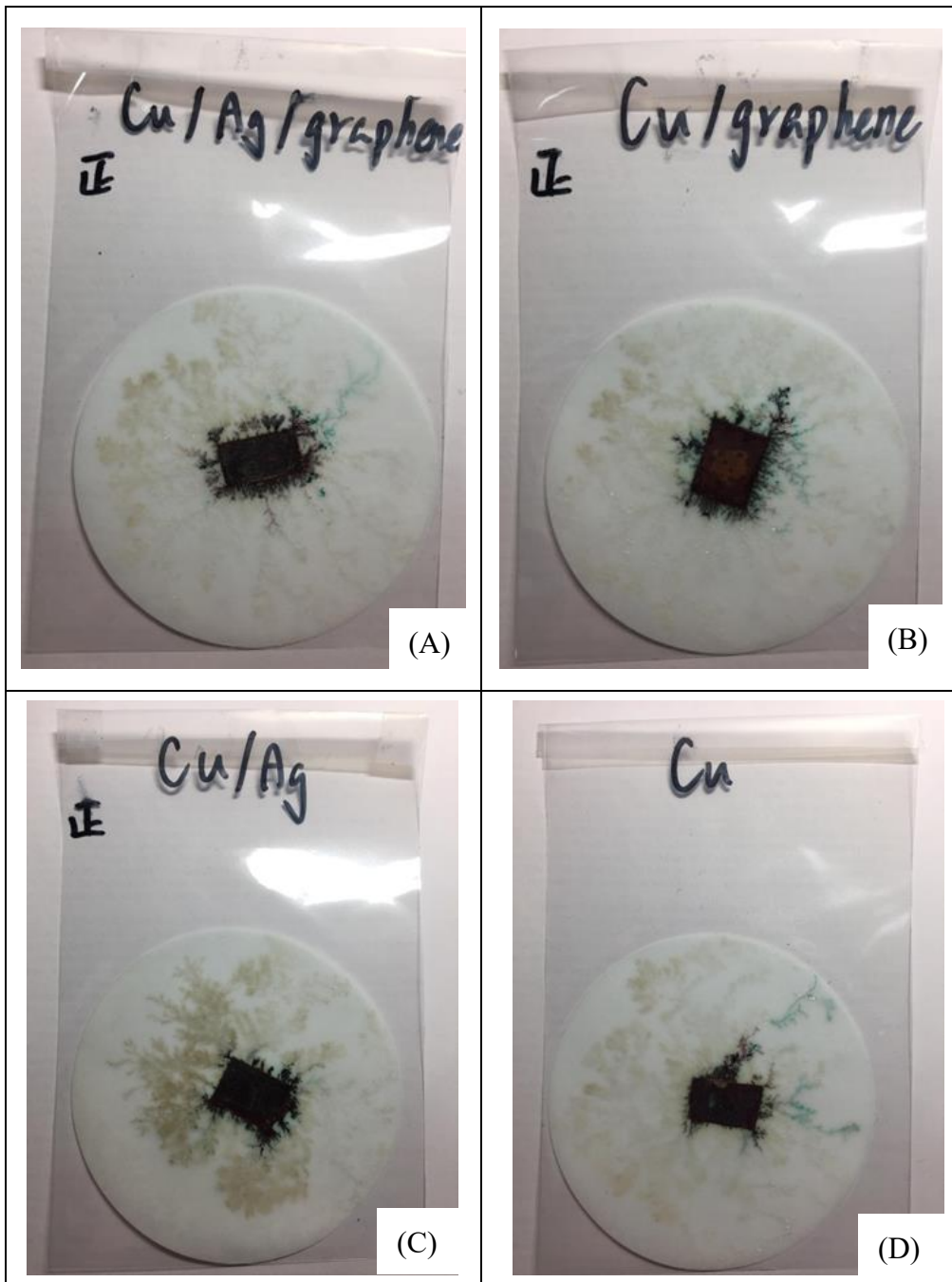
圖一：第 20 天之後金屬催化析出氧化亞銅或銅金屬的情形，(A)~(C) 分別在第一、二和三天移除銅片，只留下銀金屬 (D) 未移除銅片而保留銅銀雙金屬形態，濾紙上有大量紅色氧化亞銅或銅金屬。

2. 石墨烯對於雙金屬催化能力之影響 (圖二)



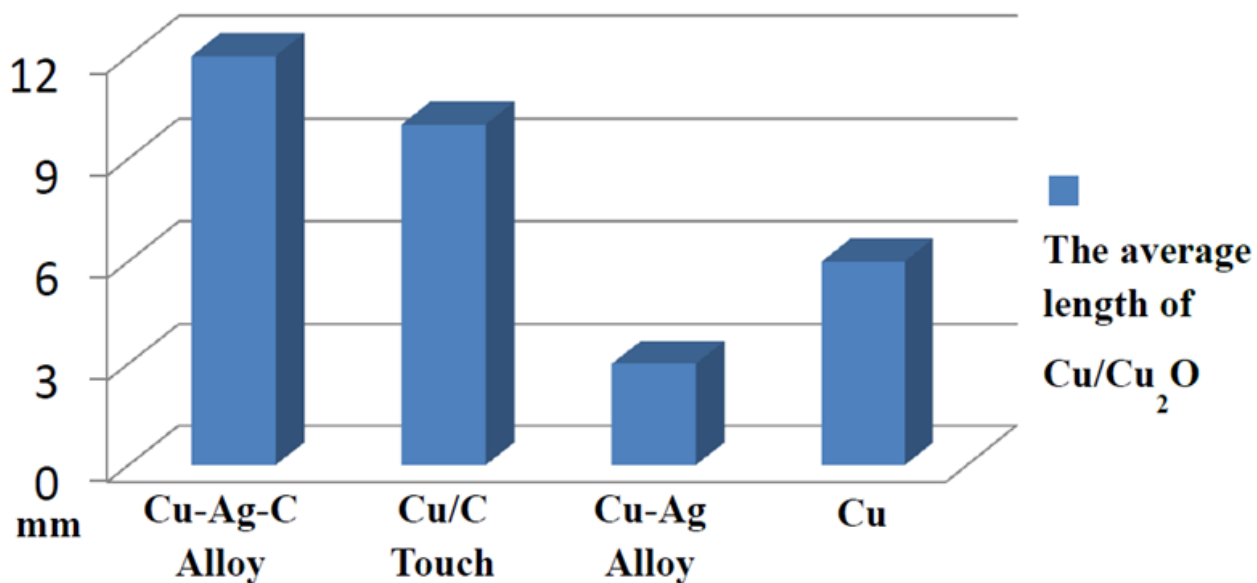
圖二：第 5 天之後石墨烯對於金屬催化析出氧化亞銅或銅的情形

3. 石墨烯對於雙金屬催化能力之影響 (圖三)

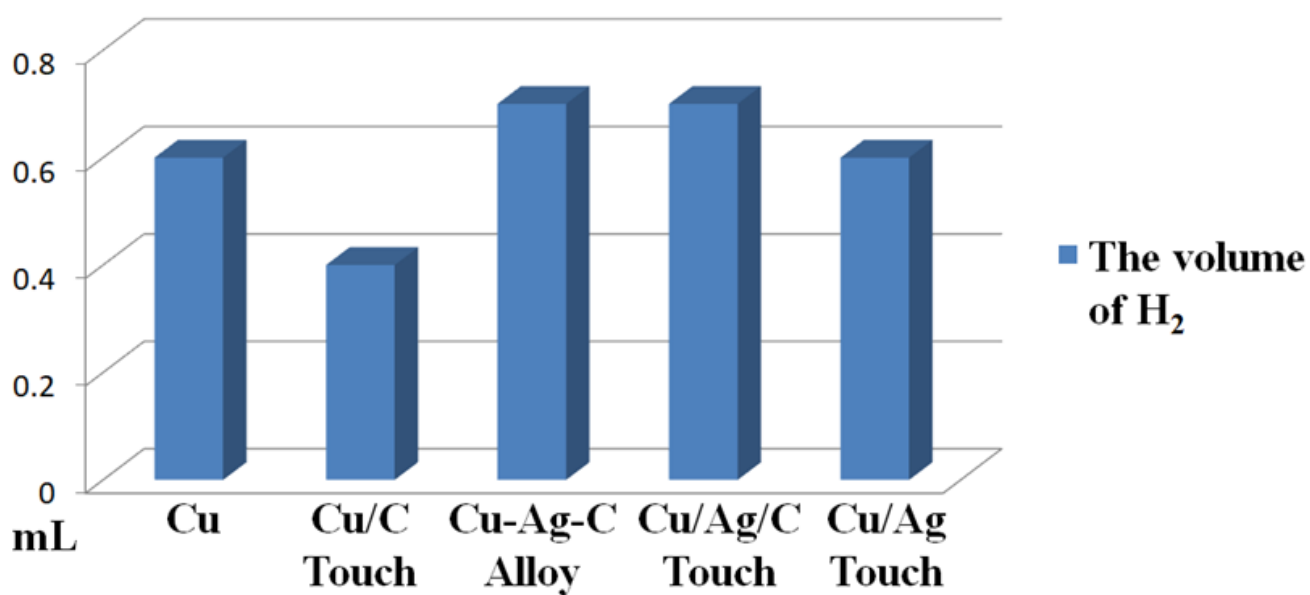


圖三：第 45 天之後石墨烯對於金屬催化析出氧化亞銅或銅的情形

4. 石墨烯對於雙金屬催化能力之影響 (第 45 天之後)

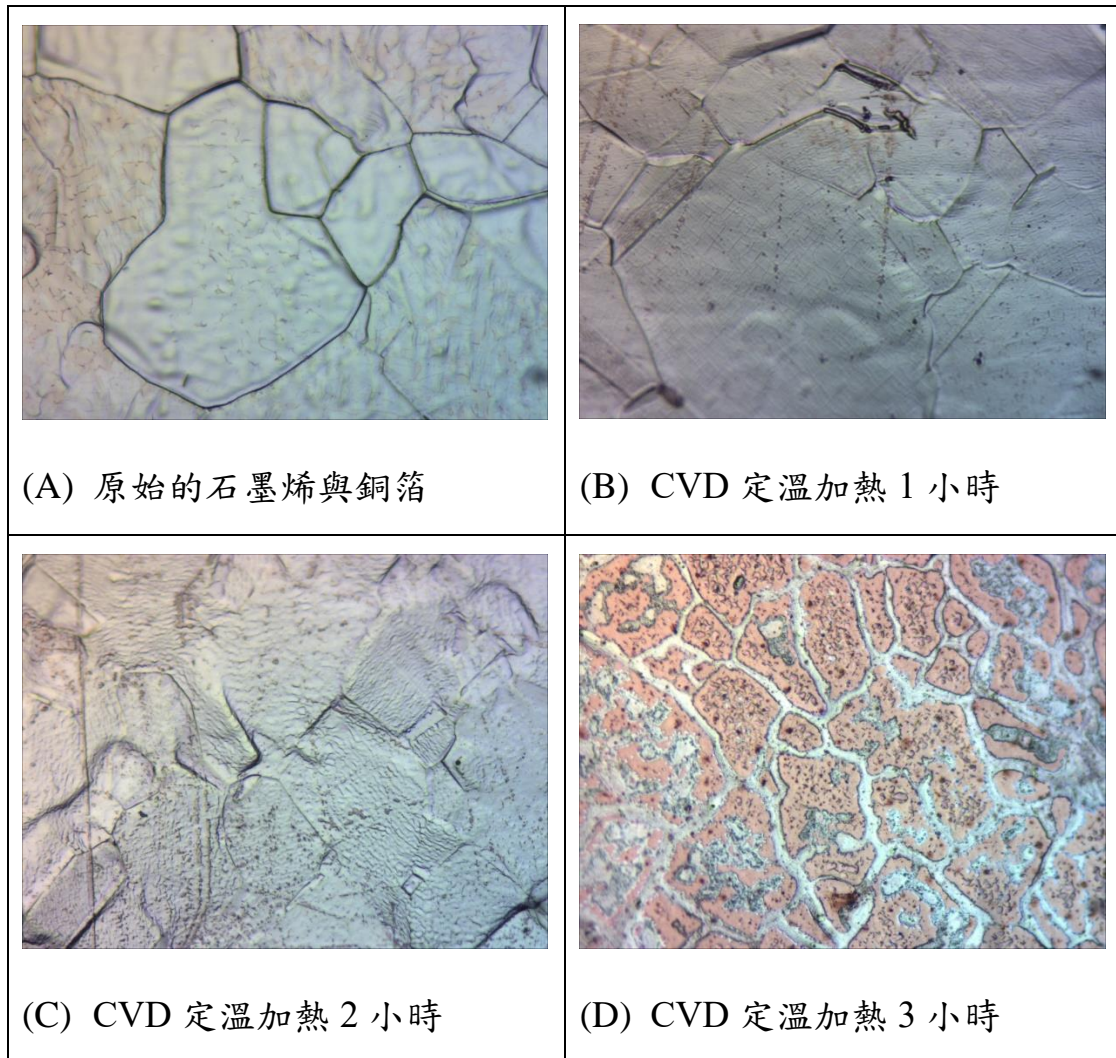


5. 電解：檢測石墨烯或銀的銅片還原氫的能力(5V,5min)



6. 光學顯微鏡之觀測—銅箔（已經過白平衡）

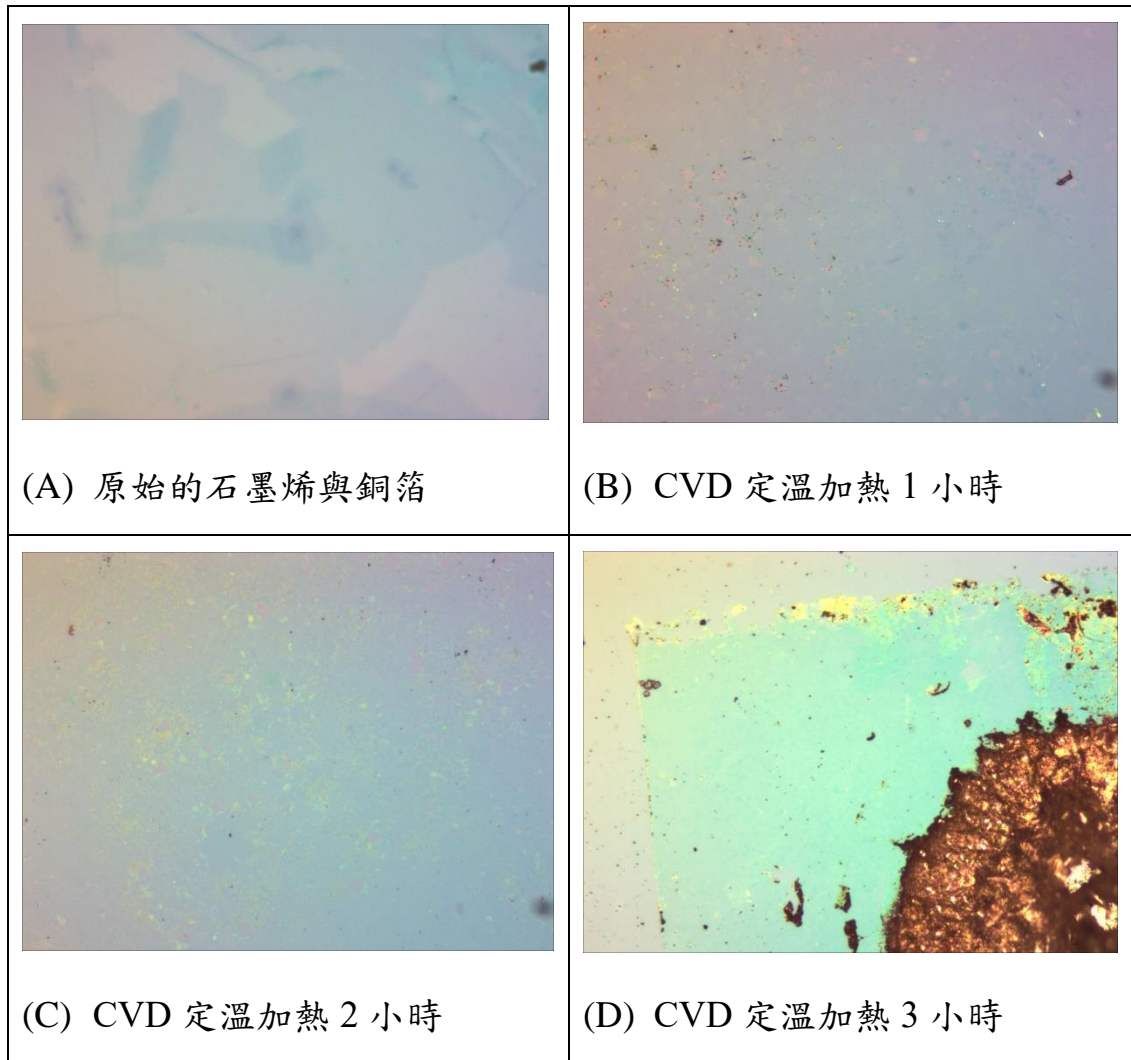
CVD 加熱時間之差異(1hr、2hr、3hr)：(圖四)



圖四：光學顯微鏡下之銅箔，(A)~(D)改變 CVD 加熱的時間

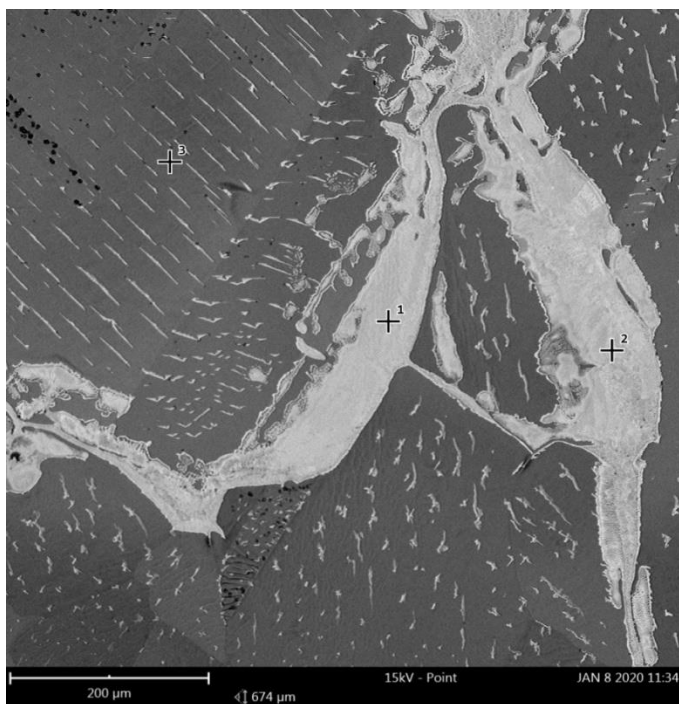
7. 光學顯微鏡之觀測—石墨烯（已經過白平衡）

CVD 加熱時間之差異(1hr、2hr、3hr)：(圖五)



圖五：光學顯微鏡下之石墨烯，(A)~(D) 改變 CVD 加熱的時間

8. 掃描電子顯微鏡 (SEM) — 銅箔：(圖六) (一、二、三)



Spot 1：(表一)

Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
6	C	Carbon	41.22	8.66
47	Ag	Silver	33.60	63.37
29	Cu	Copper	25.18	27.97

Spot 2：(表二)

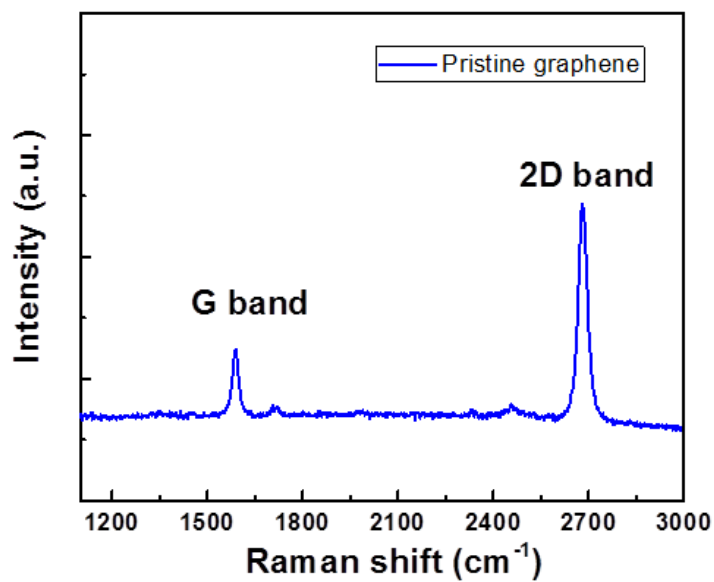
Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
6	C	Carbon	40.32	8.48
47	Ag	Silver	32.41	61.20
29	Cu	Copper	27.26	30.33

Spot 3：(表三)

Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
29	Cu	Copper	93.12	98.62
6	C	Carbon	6.88	1.38

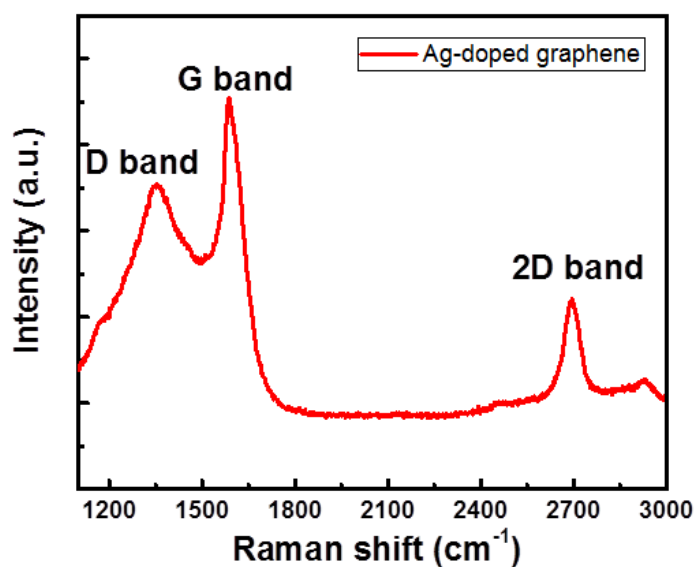
9. 拉曼光譜—石墨烯

(1) 沒有銀金屬：(圖七)



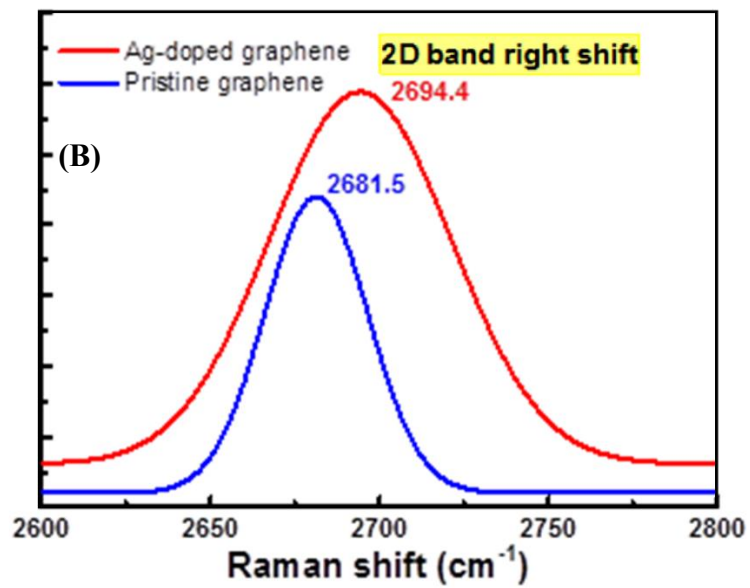
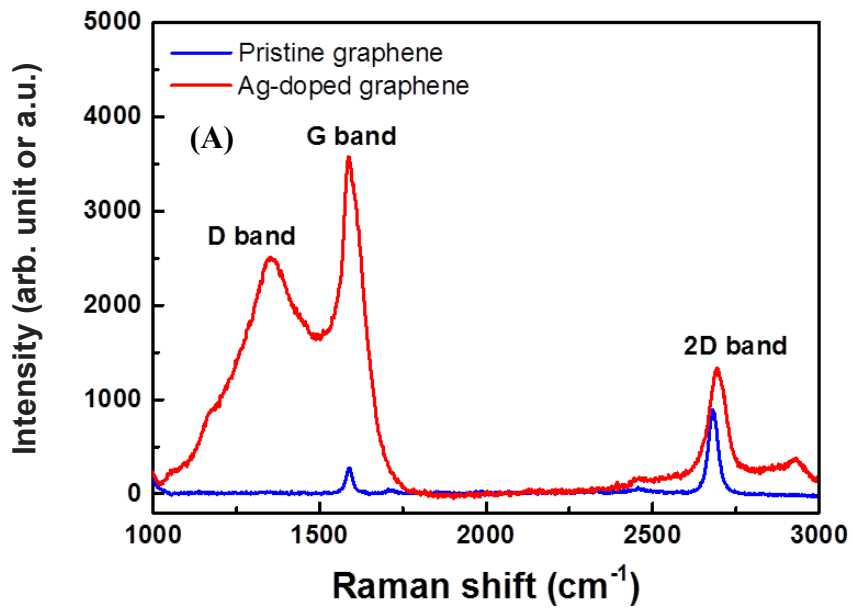
圖七：無銀金屬之石墨烯的拉曼光譜

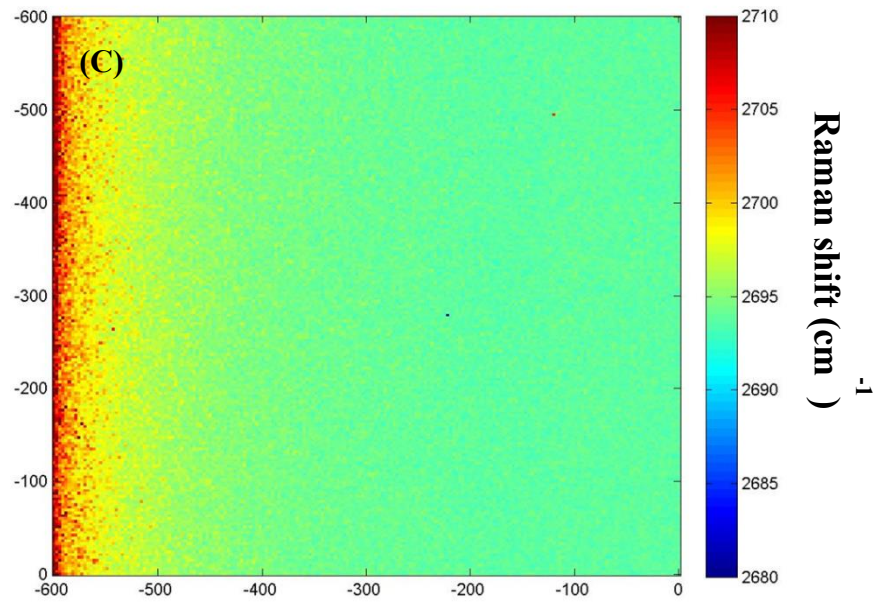
(2) CVD 定溫加熱 3 小時：(圖八)



圖八：CVD 加熱 3 小時之石墨烯的拉曼光譜

(3) 2D 峰的比較：(圖九)



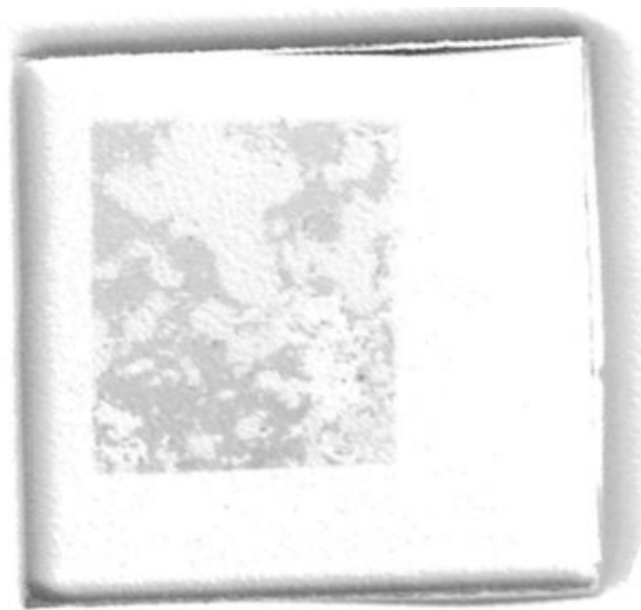


圖九：石墨烯之拉曼光譜，(A)~(B)圖五與圖六之比較

(C) 銀摻雜的石墨烯：2D 峰的大規模拉曼映射

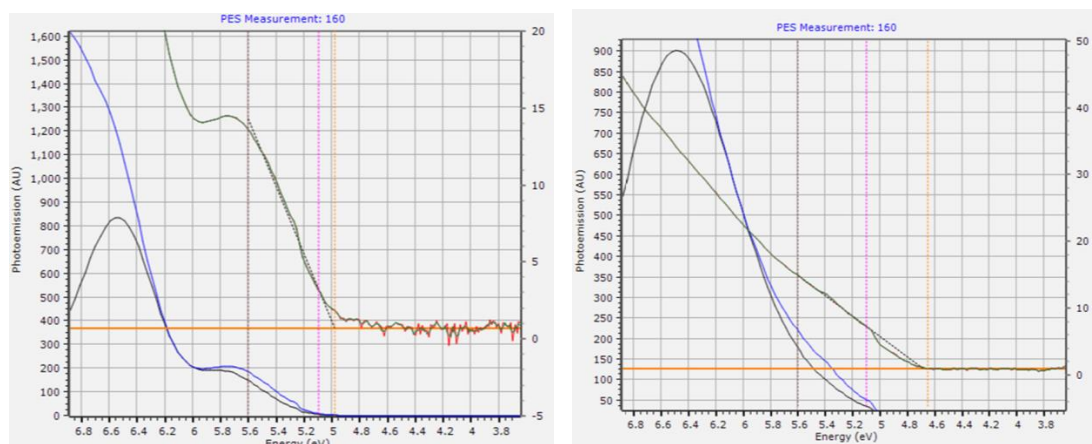
(0.6 毫米*0.6 毫米)

10. 透光度：(圖十)



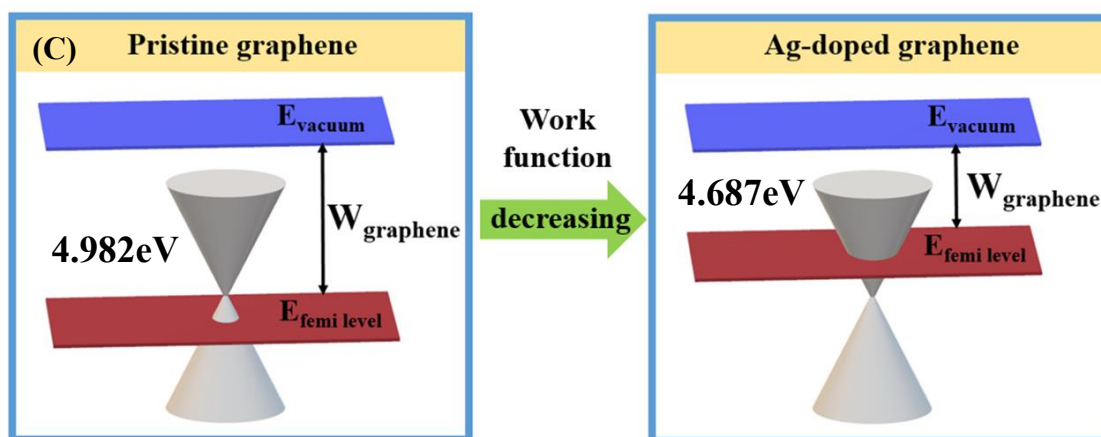
圖十：銀摻雜石墨烯之透光度 81.1%

11. 功函數：(圖十一)



(A) Graphene
Work function: 4.982 eV

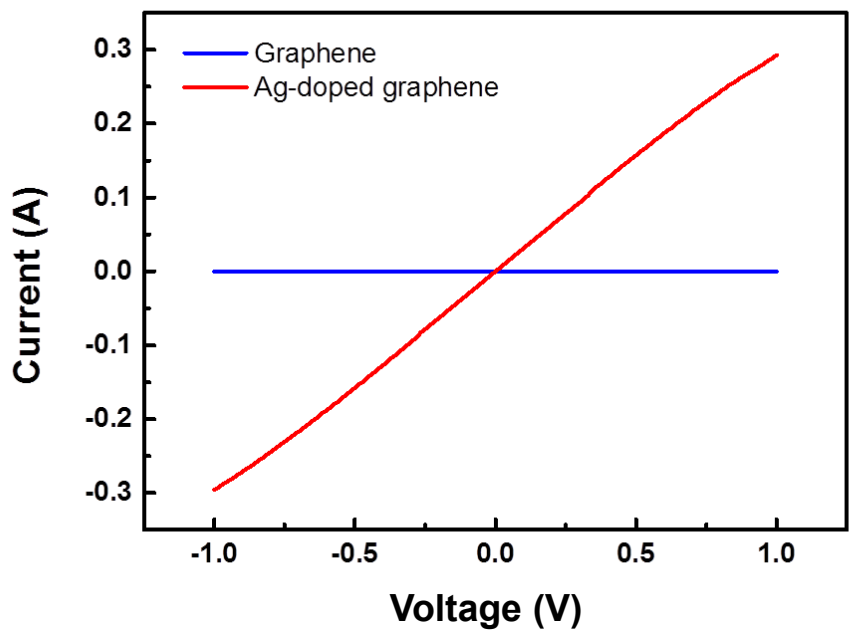
(B) Ag/graphene
Work function: 4.687 eV



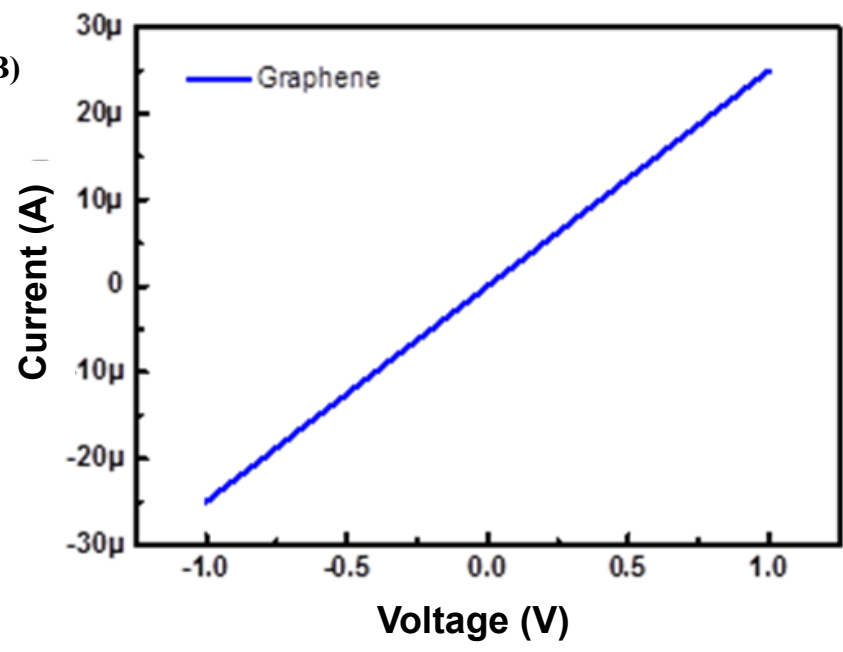
圖十一：(A)~(C)原始石墨烯與銀摻雜石墨烯之功函數的比較

12. 導電性：(圖十二)

(A)



(B)



圖十二：石墨烯之 I-V 圖，(A)~(B)有無銀之導電性比較

(二)、討論

1. 文獻討論

(1) 石墨烯的厚度僅有一個碳原子，且為目前被發現之電阻率最小的材料。

(2) 文獻：**Silver nanowire-graphene hybrid transparent conductive electrodes for highly efficient inverted organic solar cells**

I. 銀奈米片狀結構和石墨烯均為導電電極，可代替昂貴而易碎的銻錫氧化物。

II. 兩者組合在一起時，可以預期獲得協同優化的性能。

III. 銀奈米片狀結構-石墨烯混合電極，與原始的銀奈米片狀結構電極相比：

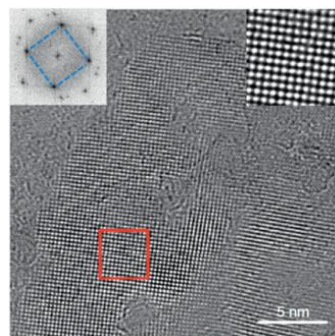
i. 在腐蝕性液體中表現出較低的薄層電阻；

ii. 較低的表面粗糙度；

iii. 出色的長期穩定性和耐腐蝕性。

(3) 文獻：**Square ice in graphene nanocapillaries**

在此報告中，研究人員觀察到兩個石墨烯薄膜之間的壓力更大。該壓力是普通壓力的 13500 倍，並且使用此高壓使水在室溫下轉換為 2D 正方形冰。



2. 在前置實驗中，得到了下列之結果：

- (1) 紅色、紅褐色為銅離子還原的產物銅或氧化亞銅，藍綠色是銅發生氧化反應的產物氫氧化銅或碳酸銅。
- (2) 第 20 天之後，沒有移除銅片的銅銀雙金屬確實促進了銅離子的還原反應，濾紙上析出有許多紅色氧化亞銅或銅金屬。
- (3) 第三天之後拿銅仍然有紅色的東西，可見雙金屬催化還原反應，可能在第一天或第二天就發生了。

3. 檢測石墨烯保護的雙金屬催化能力，得到下列結果：

- (1) 由於銅箔較先前的銅片為薄，還原出之銅金屬的量較少。
- (2) 石墨烯的位置(在金屬之上方或下方)無實質之影響。
- (3) 含有銅銀合金之樣本所還原出之銅金屬，明顯較僅有銅箔之樣本少。故推測僅銅銀共接之結構有促進還原之能力，而銅銀合金則無。
- (4) 銅/石墨烯共接異相材料與銅/銀共接雙金屬之樣本所還原出的銅較僅有銅箔之樣本少，但含有石墨烯-銀異相結構的銅之樣本卻與銅箔之樣本有程度相近之功效。故推測石墨烯並不影響還原之功效，且三者之結合亦能調和銅/石墨烯與銅/銀的特性。

4. 電解檢測石墨烯或銀的銅片還原氫的能力，得到下列結果：

- (1) 銅/石墨烯的樣本電解產生氫氣的量最少，可見若只有石墨烯的加入反而對於銅的產氫能力有較為負面之影響。
- (2) 含有石墨烯-銀異相結構的銅相較於銅/石墨烯與銅/銀等其他樣本有最好的還原氫的能力，銀的加入反而使銅石墨烯結構有了更好的產氫能力。
- (3) 創新的石墨烯-銀異相結構能成功使銅得到更加有效的催化以水產氫氣之還原反應，對於綠能相關產業之開發具有很高的應用價值。

5. 在光學顯微鏡之觀測中，觀察到了幾點之共通性：

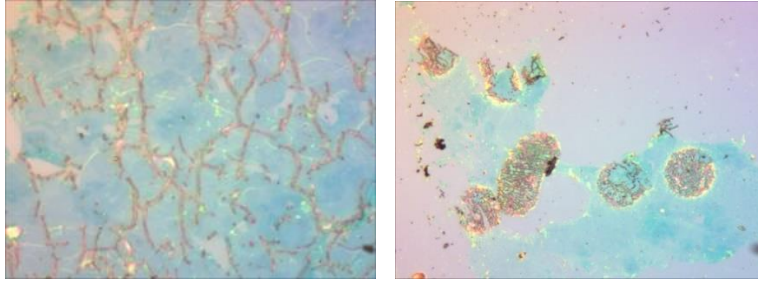
- (1) 在轉印前的銅箔的觀察中，發現將下方鍍銀的銅箔置於設定為 800°C 的 CVD 中之時間愈久，其對於銅箔表面之平滑程度之破壞(類似龜裂之情形)越劇烈。
- (2) 在轉印後的石墨烯的觀察中，發現將下方鍍銀的銅箔置於設定為 800°C 的 CVD 中之時間愈久，銅箔轉印後之石墨烯上可觀察到之銀線的部分越多，且將下方鍍銀的銅箔置於設定為 800°C 的 CVD 中之時間為 1、2 小時的情況下(圖四)，轉印後的石墨烯在光學顯微鏡下幾乎無法觀察到銀金屬的存在。

(3) 將下方鍍銀的銅箔置於設定為 800°C 的 CVD 中之時間為 3

小時的情況下，些許銀金屬有穿破石墨烯至表面的情形。

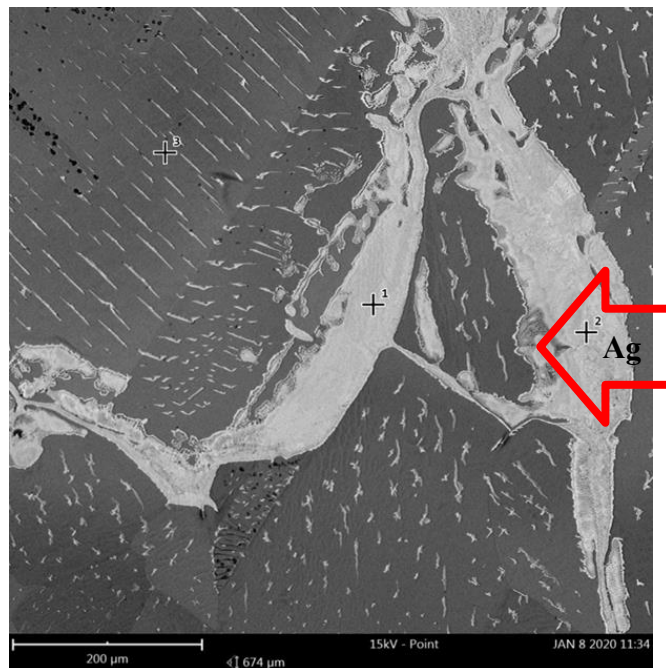
(4) 在實驗中，曾測試過 Al-Cu 雙金屬催化劑的研究，但是此材

料導致了石墨烯的碎裂，也造成其沒有導電之能力。



6. 掃描電子顯微鏡 (SEM) — 銅箔：

(1) 在掃描電子顯微鏡 (SEM) 下，白色處有銀，黑色處則無。



(圖六)

(2) 在有銀(Ag)處，石墨烯(C)的比例也相對較高。(表一、二、三)

(3) 在掃描電子顯微鏡 (SEM) 下，同時測到了碳與銀的訊號，證

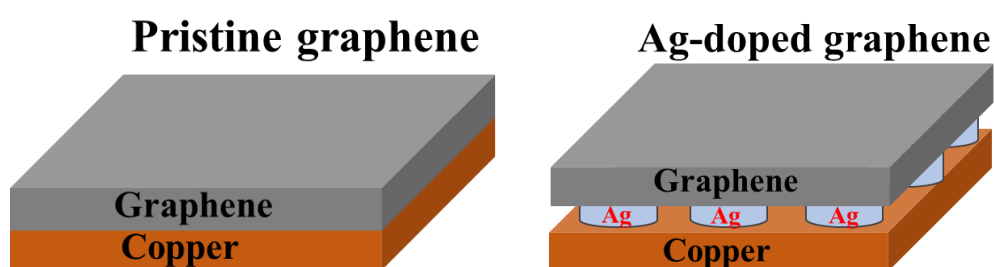
實了在此表面上同時有兩者的存在。

7. 拉曼光譜下的石墨烯：

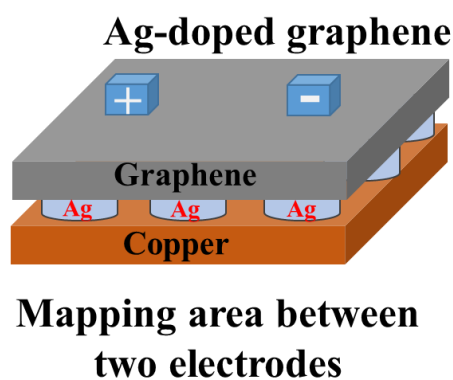
(1) 有銀摻雜的石墨烯相較於原始石墨烯之2D峰有右移的現象。

(圖九 B)

(2) 當銀析出在石墨烯和銅基材間時，因石墨烯包覆銀析出物而使石墨烯產生應力，所以才會造成2D峰有右移的現象。

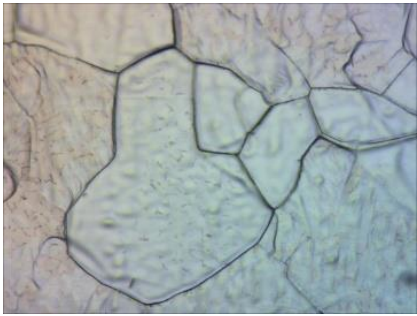
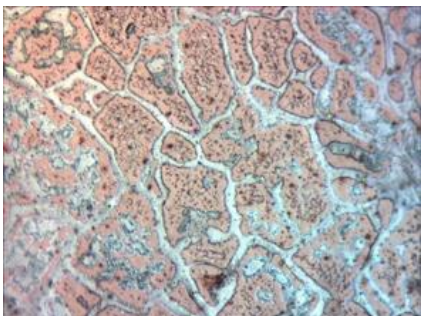

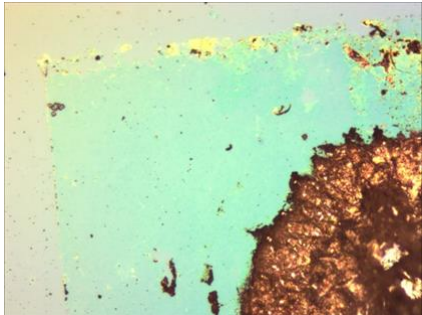
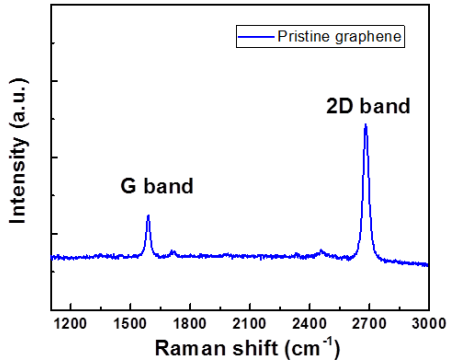
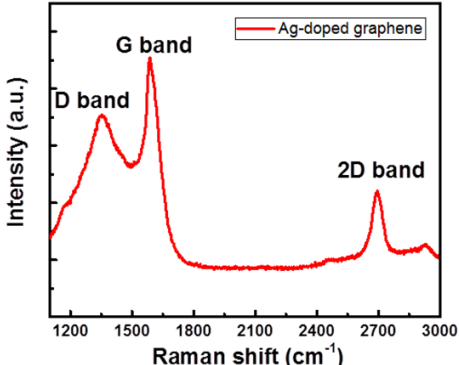


(3) 通過拉曼映射，可以觀察到石墨烯均勻地存在於兩個電極之間且完全覆蓋了 Ag，並通過映射數據確保兩個電極直接接觸石墨烯。(圖九 C)



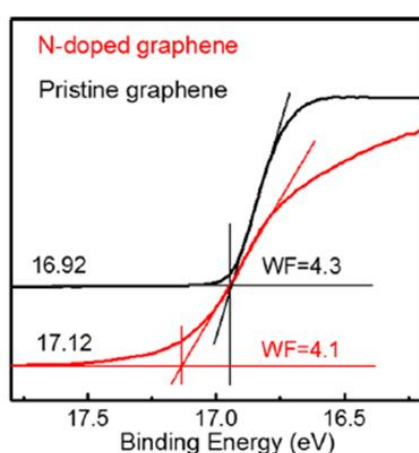
(4) 銀摻雜後的石墨烯拉曼訊號較原始石墨烯強，這意味著摻雜後的石墨烯拉曼訊號有表面增強拉曼光譜 Surface-enhanced Raman spectroscopy (SERS)的現象。(圖九 A)

(5) 拉曼光譜圖與光學顯微鏡下影像之比較：

	無銀金屬	CVD 加熱 3 小時
銅箔		
石墨烯		
拉曼光譜	 <p>Intensity (a.u.)</p> <p>Raman shift (cm⁻¹)</p> <p>Pristine graphene</p> <p>G band</p> <p>2D band</p>	 <p>Intensity (a.u.)</p> <p>Raman shift (cm⁻¹)</p> <p>Ag-doped graphene</p> <p>D band</p> <p>G band</p> <p>2D band</p>

8. 功函數：

- (1) 石墨烯的功函數 $W_{\text{graphene}} = E_{\text{vacuum}} - E_{\text{femi level}}$
- (2) 有銀摻雜的石墨烯比原始石墨烯的功函數減少 0.3 eV。
- (3) 先前的文獻(Atmospheric pressure route to epitaxial nitrogen-doped trilayer graphene on 4H-SiC (0001) substrate)顯示 n-type 摻雜石墨烯的功函數較原始的石墨烯低。



Appl. Phys. Lett. 105, 233111 (2014)

- (4) 由先前的文獻可知此實驗方法製造的石墨烯摻雜銀之後增加了自由電子。

7. 導電性：

- (1) 有銀摻雜的石墨烯比原始石墨烯的導電性大了一萬倍。
- (2) 銀的摻雜確實對石墨烯的導電性造成了相當巨大的影響。
- (3) 通過先前拉曼映射的數據可確保兩個電極直接接觸者為石墨烯而非銀金屬。(圖九 C)

四、結論與應用

(一)、結論

1. 創新石墨烯-銀異相結構製程，採用銅銀共接技術，成功生產導電性優於石墨烯的材料。
2. 石墨烯-銀催化還原反應的能力最佳，優於銅銀共接與銅銀合金。
3. 石墨烯-銀異相結構有效催化以水產氫氣之還原反應，對於綠能開發具有很高的應用價值。

(二)、應用及未來展望

1. 我們希望能繼續在本次研究的基礎上加以延伸，找尋更合適的方法使石墨烯本身因與銀這個良好低電阻載體結合，繼而降低其電阻並提高載子的移動率，使石墨烯能完全發揮其潛力。
2. 片狀銀-石墨烯具透明度，將應用為可撓式透明導電膜，在穿戴式元件與綠能開發具高應用價值。
3. 將銅銀雙金屬之結構利用於綠能之發展，使許多相關實驗有更廣闊的前景與發展。

五、参考文献

1. B. Tugba Camic, Faruk Oytun, M. Hasan Aslan, Hee Jeong Shin, Hyosung Choi, Fevzihan Basarir(2017). Fabrication of a transparent conducting electrode based on graphene/silver nanowires via layer-by-layer method for organic photovoltaic devices. *Journal of Colloid and Interface Science*, Volume 505, Pages 79-86
2. Bharat Sharma, Jung-Sik Kim and Ashutosh Sharma(2019). AgNWs-graphene transparent conductor for heat and sensing applications. *Materials Research Express*, Volume 6, Number 6
3. Bo Zhang, Danmin Liu, Yuntian Liang, Dandan Zhang, Hui Yan, Yongzhe Zhang(2017). Flexible transparent and conductive films of reduced-graphene-oxide wrapped silver nanowires. *Materials Letters*, Volume 201, Pages 50-53
4. Cheng Sun, Xiaoqi Wang, Yuxuan Zheng, Tianhui Yang, Mengjia Zeng(2018). Plasmonic tuning in mid-infrared regime with a composite array of graphene ribbons and silver nanowires. *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, Volume 97, Pages 384-391
5. G. Algara-Siller, O. Lehtinen, F. C. Wang, R. R. Nair, U. Kaiser, H. A. Wu, A. K. Geim & I. V. Grigorieva (2015). Square ice in graphene nanocapillaries. *Nature*, volume 519, pages 443-445
6. Hongyuan Yuan, Shuai Chang, Igor Bargatin, Ning C. Wang, Daniel C. Riley, Haotian Wang, Jared W. Schwede, J. Provine, Eric Pop, Zhi-Xun Shen, Piero A. Pianetta, Nicholas A. Melosh, Roger T. Howe (2015). Engineering Ultra-Low Work Function of Graphene. *Nano Letters*
7. J Idier, W Neri, C Labrugère, I Ly, P Poulin and R Backov(2016). Modified silver nanowire transparent electrodes with exceptional stability against oxidation. *Nanotechnology*, Volume 27, Number 10
8. J. J. Mock, M. Barbic, D. R. Smith, D. A. Schultz, and S. Schultz (2002). Shape effects in plasmon resonance of individual colloidal silver nanoparticles. *J. Chem. Phys.*116, 6755
9. Jong Han Choi, Kwan Young Lee, Sang Woo Kim(2019). Ultra-bendable and durable Graphene-Urethane composite/silver nanowire film for flexible transparent electrodes and electromagnetic-interference shielding. *Composites Part B: Engineering*, Volume 177, 107406
10. Junyan Liu, Tinghui Jiang, Feng Duan, Gengzhe Shen, Xin He, Weijia Yang, Ping Liang, Yunting Yue, Qiuming Lan, Jianhao Wu, Qingguang Zeng(2018). Electrophoresis deposition of flexible and transparent silver nanowire/graphene composite film and its electrochemical properties. *Journal of Alloys and Compounds*, Volume 745, Pages 370-377
11. Kondasinghe Gayantha, Nishan Thilawala, Jae-Kwan Kim, Ji-Myon Lee(2019). Improvement of conductivity of graphene-silver nanowire hybrid through nitrogen doping using low power plasma treatment. *Journal of Alloys and Compounds*, Volume 773, Pages 1009-1017
12. M. Boutchich, H. Arezki, D. Alamarguy, K.-I. Ho, H. Sediri, F. Güneş, J. Alvarez, J. P. Kleider, C. S. Lai, and A. Ouerghi (2014). Atmospheric pressure route to epitaxial nitrogen-doped trilayer graphene on 4H-SiC (0001) substrate. *Appl. Phys. Lett.* 105, 233111
13. M. Boutchich, H. Arezki, D. Alamarguy, K.-I. Ho, H. Sediri, F. Güneş, J. Alvarez, J. P. Kleider, C. S. Lai, and A. Ouerghi (2014). Atmospheric pressure route to epitaxial nitrogen-doped trilayer graphene on 4H-SiC (0001) substrate. *Appl. Phys. Lett.* 105, 233111
14. Neng Ye, Jieli Yan, Shuang Xie, Yuhan Kong, Tao Liang, Hongzheng Chen and Mingsheng Xu(2017). Silver nanowire-graphene hybrid transparent conductive electrodes for highly efficient inverted organic solar cells. *Nanotechnology*, Volume 28, Number 30
15. Noémie Elgrishi, Kelley J. Rountree, Brian D. McCarthy, Eric S. Rountree, Thomas T. Eisenhart and Jillian L. Dempsey (2018). A Practical Beginner's Guide to Cyclic Voltammetry. *Journal of Chemical Education*,95,2,197-206
16. Teresa Cusati, et. al, (2017). Electrical properties of graphene-metal contacts. *Scientific Reports* volume 7, 5109
17. Xiaodi Xu, Yi Ma, Yuanyuan Du, Tao Jiang, Jun Zhou and Ziqi Zhao(2018). Sensitive surface-enhanced Raman scattering activity of triple gold / silver / graphene oxide nanostructures decorated on gold nanowire arrays. *Materials Research Express*, Volume 5, Number 1
18. Yancong Qiao, Yunfan Wang, Jinming Jian, Mingrui Li, Guangya Jiang, Xiaoshi Li, Ge Deng, Shourui Ji, Yuhong Wei, Yu Pang, Qi Wu, He Tian, Yi Yang, Xiaoming Wu, Tian-Ling Ren(2020). Multifunctional and high-performance electronic skin based on silver nanowires bridging grapheme. *Carbon*, Volume 156, Pages 253-260
19. Yanxiao Li, Congjie Wei, Chenglin Wu(2019). Adhesion of silver nano wire graphene composite film. *Journal of Colloid and Interface Science*, Volume 535, Pages 341-352
20. Zainab Zafar, Zhen Hua Ni, XingWu, Zhi Xiang Shi, Hai Yan Nan, JingBai, Li Tao Sun (2013). Evolution of Raman spectra in nitrogen doped graphene. *Carbon*, Volume 61, Pages 57-62

【評語】 160045

本件採用銅銀共接技術及化學氣相沉積技術，製備石墨烯銀異相材料，探討對於石墨烯導電性質，增加其抗氧化性與導電度可調變性。惟對於儀器、材料、元件製備與計算分析等方面，熟稔有限。相較於參展的優秀作品而言，本件對於主題與內容的熟悉度、數據嚴謹性與分析完整性仍有進步與充實的空間。