

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

單一原子層金屬 M(Pt, Au, Pd, Ir)沉積修飾 E-TEK 商用觸媒
Pt/C 與 PtRu/C
研究成果報告(完整版)

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 100-ET-E-009-002-ET
執行期間：100年01月01日至100年12月31日
執行單位：國立交通大學材料科學與工程學系(所)

計畫主持人：吳樸偉

計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理人員：黃冠傑
博士班研究生-兼任助理人員：陳境好

公開資訊：本計畫可公開查詢

中華民國 101 年 03 月 31 日

中文摘要： 在本研究中我們嘗試開發簡單且快速的製程使數種金屬(Pt、Au、Pd、Ir)在商用觸媒奈米顆粒 (Pt/C, PtRu/C) 上行置換反應以進行表面修飾，並期望達到提高催化活性之效果。我們在氧氣還原的極化曲線 (Polarization curve) 中，觀察到經過 Pt、Au、Pd 以及 Ir 等金屬修飾的 PtRu/C 商用觸媒比起未修飾的 PtRu/C 觸媒有較好的表現；而將極化曲線得到的數值換算為質量活性，亦可發現經過本研究中 4 種金屬修飾的 PtRu/C 商用觸媒皆使氧氣還原催化活性提升。以穿透式電子顯微鏡 (TEM, Transmission Electron Microscope) 觀察到經過 Pt、Au、Pd 以及 Ir 修飾的 PtRu/C 商用觸媒較未經修飾的 PtRu/C 觸媒金屬奈米顆粒分散性更佳，使其聚集嚴重的問題改善。而 XRD 的結果並沒有明顯的差異，顯示出置換反應發生在只有表面 1~2 層左右的原子層。透過 XAS，則可以看出在 Pd 的修飾下，使得 Pt 的奈米顆粒變得最為接近金屬態，而使其氧氣還原之催化提升。另外，在以 Pt/C 商用觸媒與 Au 之外的元素修飾部分，並沒有顯著的改進效果。

中文關鍵詞： 置換反應、單一原子層電化學觸媒、商用觸媒修飾

英文摘要： In this study, we attempt to develop a facile approach to improve catalytic activities of commercially available electrocatalysts (Pt/C and PtRu/C) via a displacement reaction so Pd, Ir, Au, and Pt can be deposited on the surface of the electrocatalysts. The displacement reaction occurs on the surface only so the deposit is expected to be 1~2 layers at best. From polarization curves of oxygen reduction reaction in acidic electrolyte, we observe notable enhancements in apparent current densities and mass activities for the Pt, Au, Pd, and Ir-decorated electrocatalysts. Images from TEM indicate better dispersion of the modified electrocatalysts as compared to the as-received ones. Results from X-ray diffraction reveal identical diffraction pattern from the modified electrocatalysts, confirming that the surface decoration is rather thin. X-ray photoelectron spectroscopy suggests that with presence of Pd, the Pt demonstrates the most metallic character, which leads to the largest oxygen reduction activity among these samples.

英文關鍵詞： Displacement reaction; Monolayered Electrocatalyst;

Modification of Commercial Electrocatalyst

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 成果報告

單一原子層金屬 M(Pt, Au, Pd, Ir) 沉積修飾 E-TEK

商用觸媒 Pt/C 與 PtRu/C

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 100-ET-E-009-002-ET

執行期間：2011 年 01 月 01 日至 2011 年 12 月 31 日

執行單位：國立交通大學 材料科學與工程學系

計畫主持人：吳樸偉

計畫參與人員：陳境好、黃冠傑

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：

中 華 民 國 101 年 3 月 30 日

單一原子層金屬 M(Pt, Au, Pd, Ir) 沉積修飾 E-TEK 商用觸媒 Pt/C 與 PtRu/C

計畫編號：NSC 100-ET-E-009-002-ET

執行期限：2011 年 01 月 01 日至 2011 年 12 月 31 日

主持人：吳樸偉 交通大學材料系

摘要

在本研究中我們嘗試開發簡單且快速的製程使數種金屬(Pt、Au、Pd、Ir)在商用觸媒奈米顆粒 (Pt/C, PtRu/C) 上行置換反應以進行表面修飾，並期望達到提高催化活性之效果。我們在氧氣還原的極化曲線 (Polarization curve) 中，觀察到經過 Pt、Au、Pd 以及 Ir 等金屬修飾的 PtRu/C 商用觸媒比起未修飾的 PtRu/C 觸媒有較好的表現；而將極化曲線得到的數值換算為質量活性，亦可發現經過本研究中 4 種金屬修飾的 PtRu/C 商用觸媒皆使氧氣還原催化活性提升。以穿透式電子顯微鏡 (TEM, Transmission Electron Microscope) 觀察到經過 Pt、Au、Pd 以及 Ir 修飾的 PtRu/C 商用觸媒較未經修飾的 PtRu/C 觸媒金屬奈米顆粒分散性更佳，使其聚集嚴重的問題改善。而 XRD 的結果並沒有明顯的差異，顯示出置換反應發生在只有表面 1~2 層左右的原子層。透過 XAS，則可以看出在 Pd 的修飾下，使得 Pt 的奈米顆粒變得最為接近金屬態，而使其氧氣還原之催化提升。另外，在以 Pt/C 商用觸媒與 Au 之外的元素修飾部分，並沒有顯著的改進效果。

關鍵詞：置換反應、單一原子層電化學觸媒、商用觸媒修飾

Abstract

In this study, we attempt to develop a facile approach to improve catalytic activities of commercially available electrocatalysts (Pt/C and PtRu/C) via a displacement reaction so Pd, Ir, Au, and Pt can be deposited on the surface of the electrocatalysts. The displacement reaction occurs on the surface only so the deposit is expected to be 1~2 layers at best. From polarization curves of oxygen reduction reaction in acidic electrolyte, we observe notable enhancements in apparent current densities and mass activities for the Pt, Au, Pd, and Ir-decorated electrocatalysts. Images from TEM indicate better dispersion of the modified electrocatalysts as compared to the as-received ones. Results from X-ray diffraction reveal identical diffraction pattern from the modified electrocatalysts, confirming that the surface decoration is rather thin. X-ray photoelectron spectroscopy suggests that with presence of Pd, the Pt demonstrates the most metallic character, which leads to the

largest oxygen reduction activity among these samples.

Keywords : Displacement reaction; Monolayered Electrocatalyst; Modification of Commercial Electrocatalyst

1. Introduction

近年來，由於環境保護議題開始逐漸受到重視，加上油價攀高、石油產地動盪以及石油儲存量出現短缺的警訊，使得人類不得不去找尋和開發能夠替代石油的能源。因此，具有高能源轉換效率和對環境威脅較小的副產物這些優點的燃料電池開始有了更進一步的發展空間。雖然時至今日已有為數不少的工業化燃料電池產品出現，但就算是號稱適合用於消費性電子產品的低溫燃料電池也因造價過高，使其仍不夠普及。

以低溫燃料電池中的直接甲醇燃料電池 (DMFCs, Direct Methanol Fuel Cells) 為例，導致其造價過高的原因主要是出在膜電池組 (MEA, Membrane Electrode Assembly) 的製造成本無法有效降低，而膜電極組的觸媒層中含有用以協助燃料電池進行反應的昂貴鉑金屬 (Pt)，更是讓成本居高不下的主因。

在過去幾年內，因為奈米科技與材料科學的進步，有許多關於燃料電池觸媒的相關研究成果相繼發表，無論是針對電池中陽極的甲醇氧化反應 (MOR, Methanol Oxidation Reaction) 或是陰極的氧氣還原反應 (ORR, Oxygen Reduction Reaction)，多數研究人員都是在期望發展以最低的白金負載量來達到最高催化活性的觸媒來作為目標。為了達成上述目標，各種觸媒的合成技術也有了長足的發展。

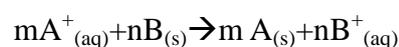
在各種觸媒的製作技術中，美國 Brookhaven 國家實驗室 R.R. Adzic 團隊利用成長單一原子層鉑金屬在不同金屬載體的方式，比起傳統奈米顆粒金屬觸媒所需的鉑金屬量要減少許多，且觸媒轉化效率也比奈米觸媒顆粒的表現更好。R.R. Adzic 團隊製作單一原子層鉑金屬觸媒的方式是將 Co、Ni 與貴金屬 (Au、Pd、Pt) 合金在適當的環境下分離，再利用低電位沉積 (UPD, Under Potential Deposition) 的方式電鍍單一原子層活性

金屬 Cu 在觸媒金屬表面。最後，使用置換反應 (Displacement Reaction) 的機制，把活性金屬 Cu 與 Pt 離子進行置換反應，造成 Cu 原子之腐蝕溶解，形成單一原子層沉積的效果^[1]。

低電位沉積牽涉到在施加比能斯特方程式 (Nernst Equation) 所預測更高之電位吸附原子 (adatom) 於基材上沉積。然而，由於這個製程是以電化學方式在玻璃碳 (glassy carbon) 電極上進行，最後所能製作出的單一原子層觸媒的量有限，因此，也無法進行工業上所需的大規模之生產^[2]。

在本篇研究中，我們直接將已是大量生產出來的 PtRu/C 和 Pt/C 兩種商用觸媒以不同的金屬 (Pt、Au、Pd、Ir) 進行表面改質，並試圖單純以置換反應的方式直接成長單一原子層，藉以達到工業中要求的快速、簡單且低成本之生產方式。

原子置換反應的原理，主要將高還原性 A 金屬離子與高氧化性 B 金屬彼此間進行氧化還原反應，將 A 金屬離子有效地還原成金屬態，B 金屬則部分氧化成氧化態或形成離子態溶解至溶液中，反應式如下：



因此反應過程只發生在高氧化性 B 金屬的表面，則 A 金屬離子的還原量屬於微量反應，大約為一至兩層原子層厚度。反應機制如圖 1 所示。

本研究除了試圖開發快速簡易的商用觸媒改質方法，亦想了解各種常見於各文獻的修飾金屬^[3~5]對商用 Pt/C, PtRu/C 觸媒運用於低溫燃料電池的氧氣還原反應會造成什麼影響，以及內部機制的探討。

2. Experimental

在本研究的實驗部分，我們先將商用觸媒 PtRu/C (E-Tek C13-40, 40%Pt-Ru) 以及 Pt/C (C2-20 20%HP Pt on Vulcan XC-72R) 放到通氫氣與氫氣的高溫爐管中以 300°C 處理 1 小時，目的是使 Pt 於氫氣的氣氛下還原，並以高溫除去表面的氧。接著我們將已經過熱處理的商用觸媒浸泡於 50ml 的 Pt、Au、Pd 和 Ir 之前驅物中（各修飾金屬的使用量為觸媒乘載金屬量之莫耳數的四分之一與八分之一）。接著，將已浸泡觸媒之溶液在油浴環境下加熱到 120°C，並同時攪拌，持續進行此步驟 90 分鐘，協助置換反應發生。最後，把處理好的觸媒用濾紙濾出，並以去離子水沖過，再放進真空烘箱直到完全乾燥。

製備好的觸媒接著再利用 X 光繞射 (XRD, X-ray Diffraction) 了解 Pt 或 Ru 晶格大小改變的情形，以判斷修飾原子是否有成功置換上；使用穿透式電子顯微鏡觀察修飾過之商用觸媒的金屬奈米顆粒之粒徑大小與分散的均勻度。我們也利用同步輻射光源的 X 光吸收光譜 (XAS, X-ray Absorption Spectroscopy) 中的 X 光吸收近邊緣結構 (XANES, X-ray Absorption Near Edge Structure) 觀察 Pt 與修飾金屬置換反應前與後氧化態與電子結構變化。另外，我們亦對各合成條件下製出的觸媒進行電化學測試，藉此了解商用觸媒在經過我們改質前後的催化活性變化。

氧氣還原反應的電化學測試的條件為先在 0.1M 的過氯酸 (HClO₄) 水溶液內通氧氣到達飽和，工作電極 (working electrode) 則為旋轉電極，以 1600rpm 之轉速，利用循環伏安法 (Cyclic Voltammetry) 掃描 0.7 到 -0.2V 之間的區間，掃描速度 10mV/s 以取得 ORR 之極化曲線，使用之電化學系統為 Solartron 1287A。

X 光吸收光譜的數據則是利用國家同步輻射研究中心的 BL17C1 光束線所取得。

3. Results and discussion

首先，我們進行電化學活性的探討，圖 2 為 ORR 電化學活性測試的極化曲線。我們可以由圖中看到經過 Pt、Au、Pd 以及 Ir 等金屬修飾的

PtRu/C 商用觸媒比起未修飾的 PtRu/C 觸媒有較好的表現；其中經過 Au 修飾過後的 PtRu/C 商用觸媒較未修飾的 PtRu/C 商用觸媒之 ORR 催化活性僅有微幅提升。然而，同樣在圖 2 中則可以觀察到經過 Pt、Pd 和 Ir 修飾過後的 PtRu/C 觸媒之活性則有顯著改善。

我們也利用 Koutecky-Levich equation^[6] 去計算本研究中各種觸媒的質量活性。計算的方式是先列出 Koutecky-Levich equation:

$$\frac{1}{i} = \frac{1}{i_k} + \frac{1}{i_d}$$

其中 i 為實驗上實際量測到的電流值， i_k 為動力電流 (kinetic current)， i_d 則為擴散極限電流

(diffusion-limiting current)。由上式所得到之 i_k 值再除以觸媒的重量後，即為質量活性。圖 3 為我們在計算後出現的質量活性結果，經過本研究中的 4 種修飾金屬改質以後，PtRu/C 商用觸媒的 ORR 質量活性皆有提升，除了由 Au 改質的樣品僅有微幅改善，經過 Pd 修飾後的樣品則是提升最為明顯，而經 Pt 及 Ir 置換過後的樣品亦有顯著的改善。

圖 4 為經過各修飾元素處理後之 PtRu/C 觸媒與未經修飾的 PtRu/C 觸媒的穿透式電子顯微鏡圖，圖 4a 為未經修飾之 PtRu/C 商用觸媒，而經過置換反應修飾後的 PtRu/C 觸媒分別顯示於圖 4b 至圖 4i 等 8 個圖。由圖中我們可以明顯看出 PtRu/C 商用觸媒的奈米顆粒聚集情形比起其餘 8 個經過修飾的觸媒要嚴重，這表示利用我們置換反應的製程改質後，可以改善觸媒奈米顆粒之聚集情形，使其分散較佳，並達到提升電化學活性之效果；而分散情況變好也同時意味著這個製程有更大的機會推廣至工業上應用。

在本研究中亦以同步輻射之 XAS 了解 Pt 與修飾金屬置換反應前與後氧化態與電子結構變化。圖 5 為經過 Pd、Ir、Pt 與 Au 修飾過後的 PtRu/C 觸媒之 Pt L₃-edge XANES 圖型。在 L₃-edge 圖中指的是電子被 X-ray 激發時，從 2p 軌域躍遷至 5d 軌域時，所產生的吸收峰。在此情況下，若 Pt 金屬的 5d 空軌域僅有 1 個，電子由 2p 軌域躍遷到 5d 軌域的機率會較小，故強度也會較小；

反之，若以 Pt^{4+} 為例，因其 5d 軌域有 5 個，產生從 2p 軌域躍遷到 5d 軌域的機率較高，故強度相對較高。因此，我們可以利用此強度來觀察 Pt 的價數。圖中顯示出了經過 Pd 修飾的 PtRu/C 觸媒之 Pt 奈米顆粒的 edge 為各修飾金屬中最低，意味著經由 Pd 修飾的 PtRu/C 觸媒上之 Pt 奈米顆粒較為偏向金屬態，這初步說明了前文提到的 Pd 修飾可能因此有較好的催化效果。此外，由圖 3 中我們可以觀察到經各金屬修飾過的觸媒質量活性由大到小的排列為 Pd、Ir、Pt，最後則是 Au；反之，在圖 5 的 XANES 圖中， L_3 -edge 由高至低為 Au、Pt、Ir，最低為 Pd。這樣的結果也進一步說明了較低的 edge 偏向金屬態，也較可能有相對好的 ORR 電化學活性。

圖 6 則為各修飾元素之 XRD 結果，從圖型中我們可以看出除了經過 Au 修飾的觸媒以外，由其他元素修飾的觸媒裡，各修飾元素的繞射峰並無明顯的出現，這是因為除了 Au 以外，其餘修飾元素之繞射峰都十分接近。但由電化學與 XANES 之結果顯示出已經過與未經過修飾的 PtRu/C 觸媒確實有明顯差異，故推測有置換反應之發生。此外，各元素 XRD 圖型的差異不大，也顯示了置換反應發生後，很可能只有長上一層原子，而使我們無法明顯由 XRD 圖看出，這點亦可由圖 4 的 TEM 圖型裡，各種不同條件合成出的奈米顆粒尺寸之差異甚小來說明。

4 Conclusions

本研究開發出快速且簡單的觸媒改質製程，四種選定的修飾元素 Pd、Ir、Pt 以及 Au 皆適用於電化學 ORR 催化活性之提升，並且以 Pd 對 PtRu/C 商用觸媒所改善的情形最為良好。這一點亦可由我們的 XAS 結果看出，因為 Pd 也是在所有修飾元素裡面於 XANES 圖型中 edge 最低者，意味著 Pd 相較於其他修飾元素有更好的能力使金屬奈米顆粒上的 Pt 成為金屬態。此外，TEM 的結果也顯示了經過我們製程改質後的 PtRu/C 商用觸媒上之奈米顆粒分佈更為均勻，使其改善奈米顆粒的聚集而協助催化性能提高。也因為奈米分布的問題得到解決，更使本研究提出之改質製

程適用於工業的大規模生產，快速和簡易的改質步驟更使本方法極具有競爭力。

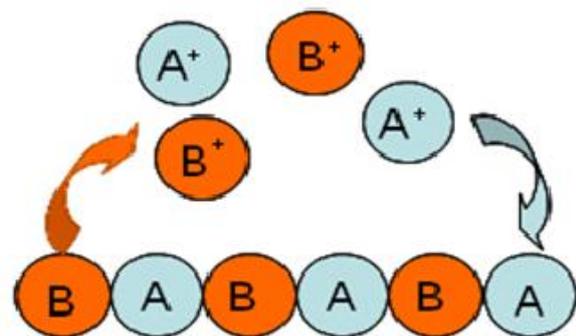


圖 1：AB 雙金屬置換反應示意圖

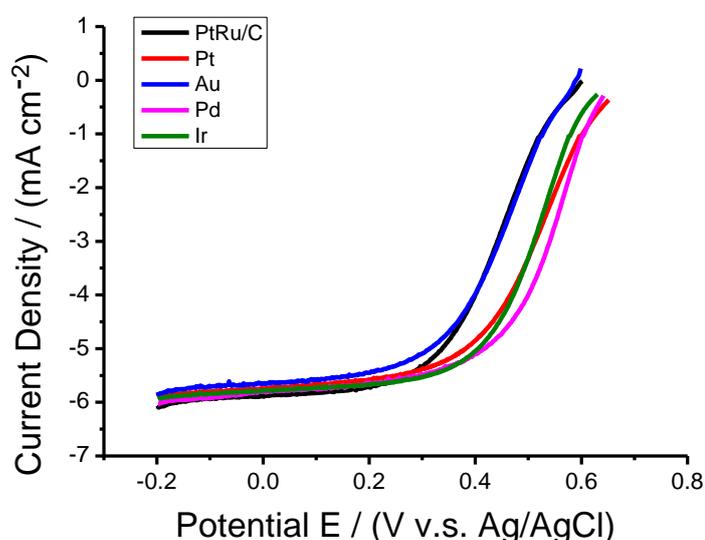


圖 2：未經修飾之 PtRu/C 商用觸媒（黑色線）與經過 Pt（紅色線）、Au（藍色線）以及 Ir（綠色線）修飾的 PtRu/C 商用觸媒之氧氣還原反應的極化曲線

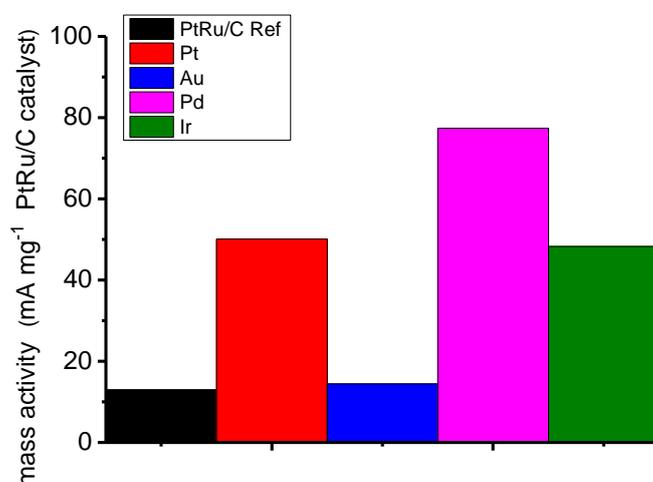
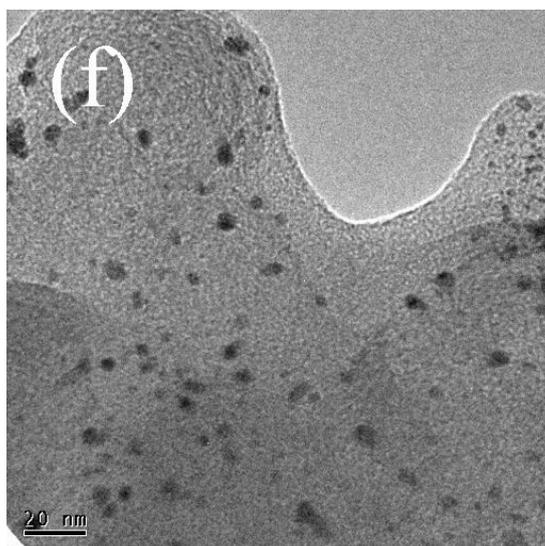
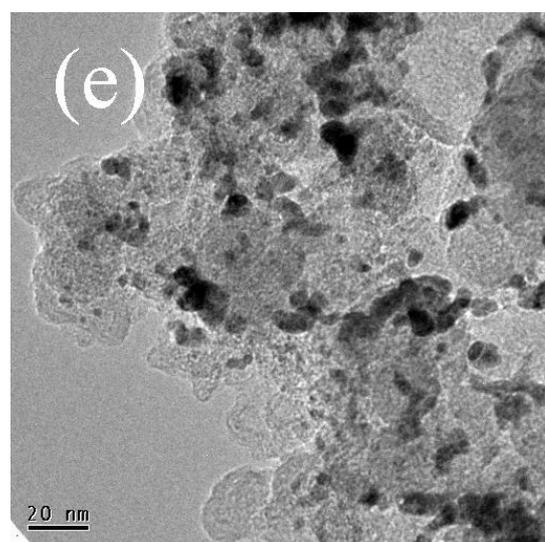
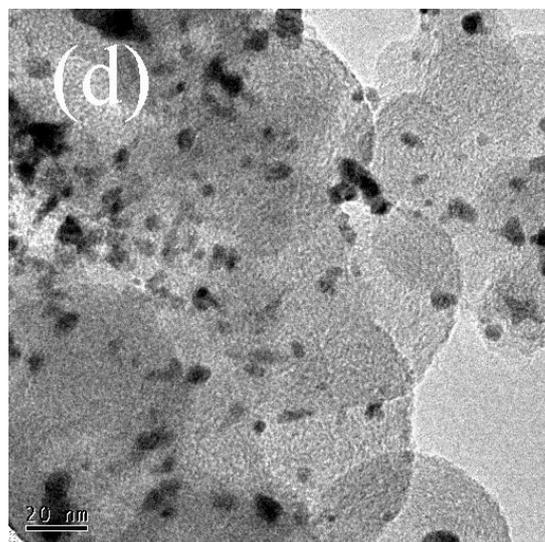
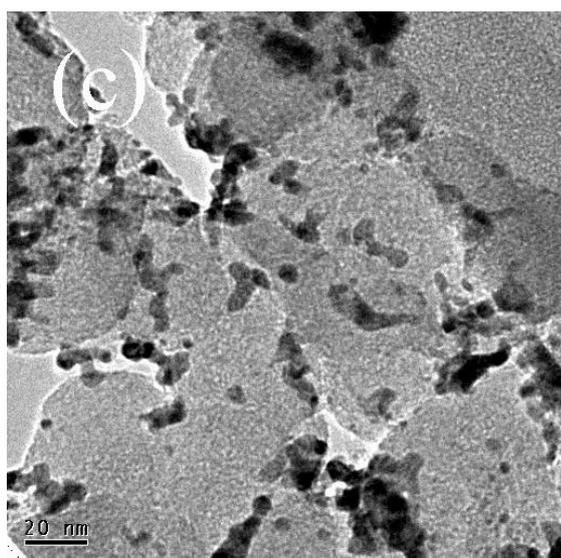
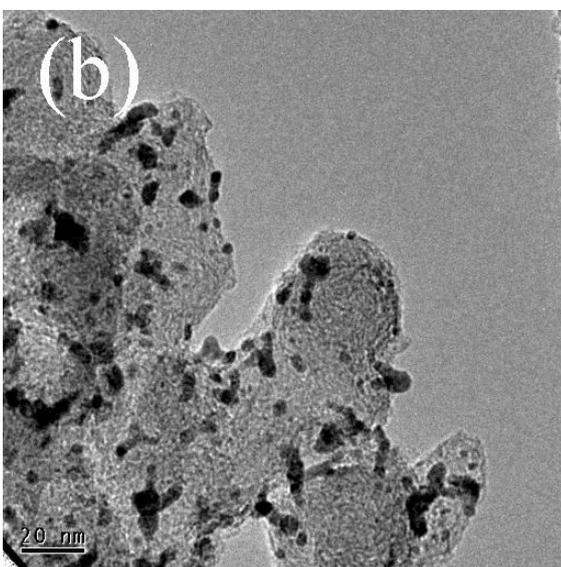
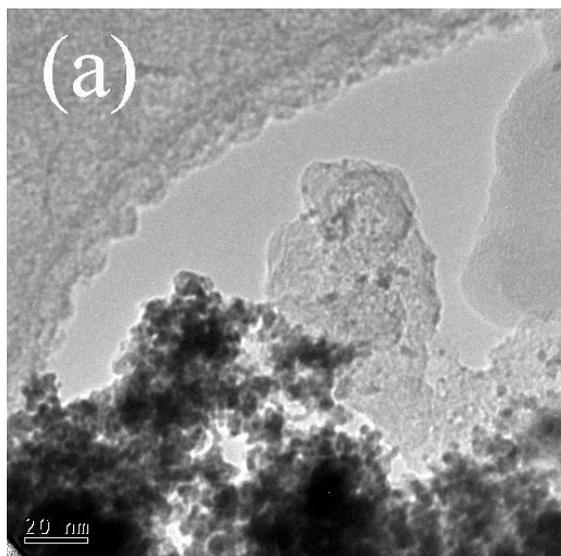


圖 3：利用 Koutecky-Levich equation 所計算出的
各修飾金屬與 PtRu/C 商用觸媒之 ORR 質量活性



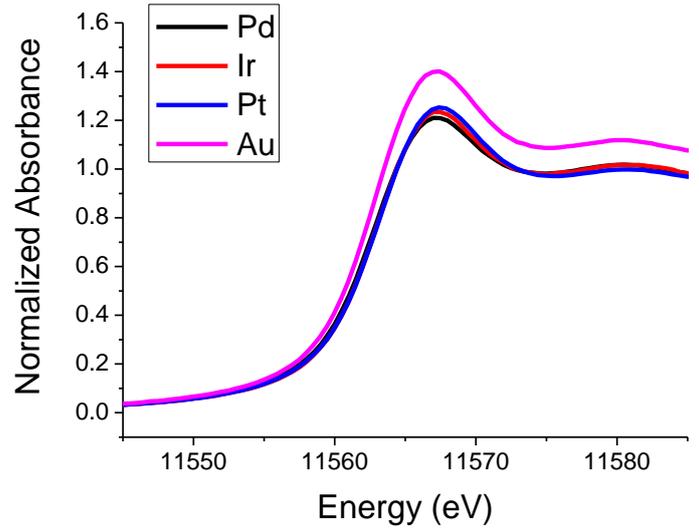
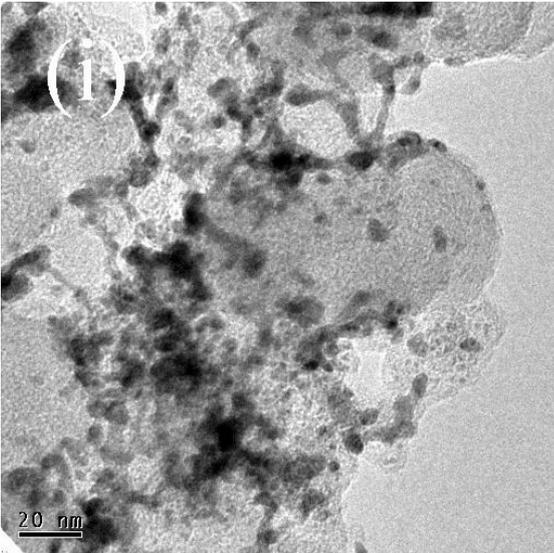
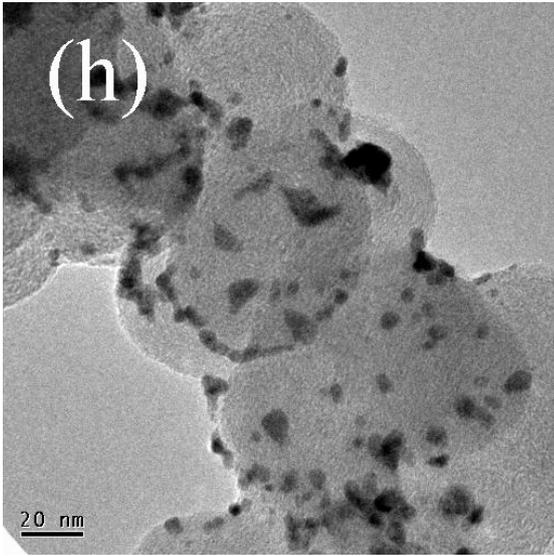
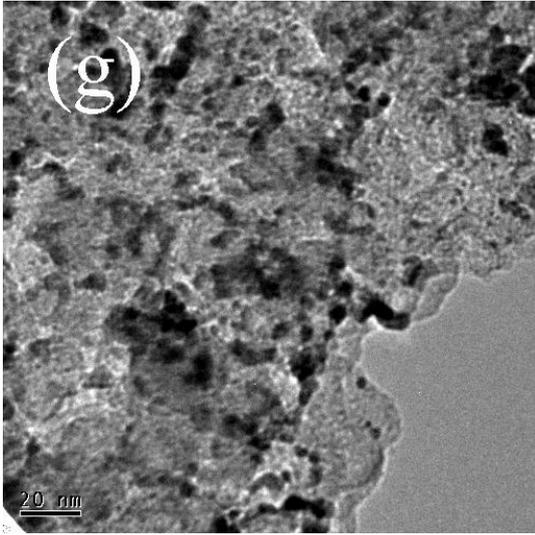


圖 5: 修飾金屬 Pd (黑色線)、Ir (紅色線)、Pt (藍色線) 以及 Au (紫色線) 的 Pt L₃-edge 之 XANES 圖型

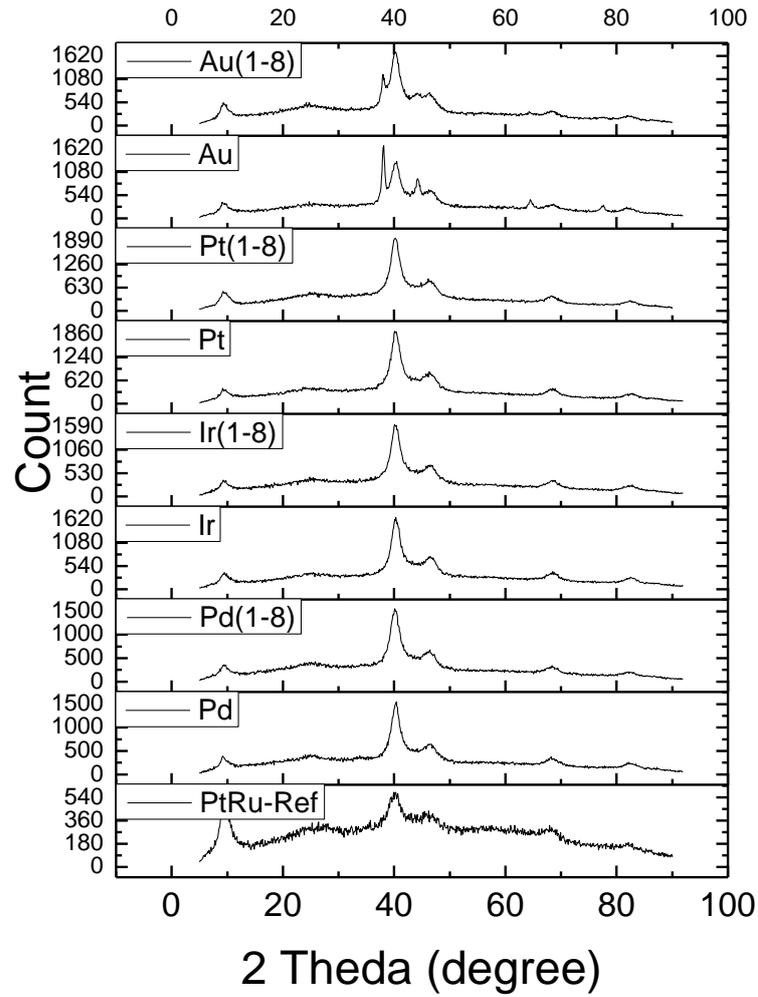


圖 4: (a) 未經修飾之 PtRu/C 商用觸媒與經過 (b) Pd (c) Ir (d) Pt (e) Au 修飾，以及以八分之一莫耳量之 (f) Pd (g) Ir (h) Pt (i) Au 修飾的 PtRu/C 商用觸媒。

圖 6：經修飾元素 Au、Pt、Ir 以及 Pd 改質過後的 PtRu/C 觸媒之 XRD 圖型。後有標明(1-8)者為使用觸媒金屬負載量莫耳數之八分之一來進行置換反應的觸媒。

5. References

- [1] R. R. Adzic, A J. Zhang, A K. Sasaki, A M. B. Vukmirovic, A M. Shao A, J. X. Wang, A A. U. Nilekar, A M. Mavrikakis, A J. A. Valerio, and A F. Uribe, *Top Catal*, 46, 249 (2007).
- [2] K. Sasaki, J.X. Wang, H. Naohara, N. Marinkovic, K. More, H. Inada, R.R. Adzic, *Electrochim. Acta*, 8,55 (2010)
- [3] Zhang, J., K. Sasaki, et al., *Science* 315, 5809 (2007)
- [4] M.B. Vukmirovic, J. Zhang, K. Sasaki, A.U. Nilekar, F. Uribe, M. Mavrikakis, R.R. Adzic, *Electrochim. Acta*, 6, 52 (2007)

[5] Wenzhen Lia, Weijiang Zhou, Huanqiao Li, Zhenhua Zhou, Bing Zhou, Gongquan Sun, Qin Xin, *Electrochim. Acta*, 7, 49 (2004)

[6] Lim, B.; Jiang, M.; Camargo, P. H. C.; Tao, J.; Lu, X.; Zhu, Y.; Xia, Y. , *Science* 324, 5932 (2009)

6. 計畫成果自評

在此一年的研究計畫中完成了：

- 快速又簡單的方式，增加改良商用觸媒氧氣還原活性。
- 有效防止奈米顆粒之聚集現象，使其分佈程度更佳。
- 研究以金屬置換方式與自發性沉積之方式成功合成單一原子層金屬在燃料電池商用觸媒表面
- 預期可以發表一篇研討會論文與一篇期刊論文。

國科會補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

達成目標

未達成目標（請說明，以 100 字為限）

實驗失敗

因故實驗中斷

其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

論文：已發表 未發表之文稿 撰寫中 無

專利：已獲得 申請中 無

技轉：已技轉 洽談中 無

其他：（以 100 字為限）

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）（以 500 字為限）

本研究利用欲沉積物和基材間之電化學活性差異，可成功的選擇性沉積單一原子層金屬在基材上以進行表面改質，此方法可有效降低催化劑的成本及改善催化劑活性，這樣簡單且快速的改質方式適合用於化學工業之奈米核殼催化粒子、燃料電池催化劑以及電解水催化劑的合成時的製程改進，簡而言之，這種低成本高收益的技術非常適合廠商採用。

國科會補助計畫衍生研發成果推廣資料表

日期:2012/03/31

國科會補助計畫	計畫名稱: 單一原子層金屬M(Pt, Au, Pd, Ir)沉積修飾E-TEK商用觸媒Pt/C與PtRu/C
	計畫主持人: 吳樸偉
	計畫編號: 100-ET-E-009-002-ET 學門領域: 能源新利用技術研發
無研發成果推廣資料	

100 年度專題研究計畫研究成果彙整表

計畫主持人：吳樸偉		計畫編號：100-ET-E-009-002-ET					
計畫名稱：單一原子層金屬 M(Pt, Au, Pd, Ir) 沉積修飾 E-TEK 商用觸媒 Pt/C 與 PtRu/C							
成果項目		量化			單位	備註 (質化說明：如數個計畫共同成果、成果列為該期刊之封面故事...等)	
		實際已達成數 (被接受或已發表)	預期總達成數 (含實際已達成數)	本計畫實際貢獻百分比			
國內	論文著作	期刊論文	1	1	100%	篇	
		研究報告/技術報告	1	1	100%		
		研討會論文	0	0	100%		
		專書	0	0	100%		
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力 (本國籍)	碩士生	1	1	100%	人次	
		博士生	1	1	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		
國外	論文著作	期刊論文	0	1	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	0	0	100%		
		專書	0	0	100%	章/本	
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力 (外國籍)	碩士生	0	0	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		

<p>其他成果 (無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)</p>	<p>This method will be carefully examined so a high-impact SCI paper can be published shortly.</p>
--	--

	成果項目	量化	名稱或內容性質簡述
科 教 處 計 畫 加 填 項 目	測驗工具(含質性與量性)	0	
	課程/模組	0	
	電腦及網路系統或工具	0	
	教材	0	
	舉辦之活動/競賽	0	
	研討會/工作坊	0	
	電子報、網站	0	
	計畫成果推廣之參與(閱聽)人數	0	

國科會補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

達成目標

未達成目標（請說明，以 100 字為限）

實驗失敗

因故實驗中斷

其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

論文： 已發表 未發表之文稿 撰寫中 無

專利： 已獲得 申請中 無

技轉： 已技轉 洽談中 無

其他：（以 100 字為限）

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）（以 500 字為限）

This research work provides a facile approach to enhance commercially available electrocatalysts. Therefore, the method developed in this work has substantial commercial potential and once the process is optimized, it can be transferred to interested parties for practical application. In addition, the method developed here can also be applied to other general catalytic areas for more audiences.