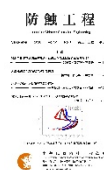




防蝕工程學會

防蝕工程

期刊網址：<http://www.anticorr.org.tw>



10.6376/JCCE.202009_34(3).0004

電泳沉積法製備 $\text{TiO}_2/\text{CNT}/\text{SS316L}$ 複合電極特性探討 The characteristics of $\text{TiO}_2/\text{CNT}/\text{SS316L}$ composite electrodes prepared by electrophoretic deposition

王宜達*¹、王柏文¹

Yi-Ta Wang*¹, Pai-Wen Wang¹

中文摘要

燃料電池系統陰極結合高級氧化程序光電-芬頓系統(Photo-Electro-Fenton)具提供汙廢水淨化處理功能；而電極材料為影響系統效能之的關鍵因素。本研究以具高導電及化學穩定性之 SS316L 作為基材；藉由電泳沉積法進行奈米碳管(Carbon Nanotubes, CNT)及不同時間二氧化鈦(Titanium Dioxide, TiO_2)表面塗層複合電極製備，冀能提高陰極效能，實驗包括：(1) 線性掃描伏安法；(2) 循環伏安法；(3) 接觸角度測量儀；(4) 掃描式電子顯微鏡觀察；(5) 陰極系統脫色效率測試。

由結果顯示，經電泳沉積時間 5 分鐘製備電極具最高之響應電流與電荷捕獲量，分別為 0.975 mA/cm^2 及 0.052 C ，同時具最小之接觸角 31.5° ，且表面具最佳披覆及系統最高反應常數 0.022 min^{-1} ；相較優於 SS316L 基材之 0.007 min^{-1} 。綜合以上結果，本研究成功藉由電沉積法製備 $\text{TiO}_2/\text{CNT}/\text{SS316L}$ 複合電極，有助於未來燃料電池電極之研究。

關鍵詞：燃料電池、電泳沉積、二氧化鈦、奈米碳管、SS316L。

Abstract

The cathode of the fuel cell combined with the Photo-Electro-Fenton system has the function of cleaning wastewater, and the electrode is a key factor to influence the efficiency of the system. In this study, SS316L with high conductivity and chemical stability was used as the substrate, and the coating combined to carbon nanotubes and TiO_2 were prepared by electrophoretic deposition to improve cathode efficiency. The experiments include: (1) Linear scanning voltammetry; (2) Cyclic voltammetry; (3) Contact angle instrument; (4) Scan electron microscope; (5) Decolorization efficiency test of cathode system.

收到日期：108年10月21日

修訂日期：109年05月04日

接受日期：109年08月09日

¹ 國立宜蘭大學機械與機電工程學系

¹ Department of Mechanical and Electro-Mechanical Engineering, National Ilan University

*聯絡作者：ytwang@niu.edu.tw

These results shown that the electrode prepared by electrophoresis deposition for 5 min has the highest response current and charge capacity of 0.975 mA/cm² and 0.052 C, respectively, which contains a minimum contact angle of 31.5°. Meanwhile, the surface has the best coating and the highest reaction rate of 0.022 min⁻¹, which is higher than that of 0.007 min⁻¹ for SS316L. In summary, this study successfully prepared TiO₂/CNT/SS316L composite electrodes by electrodeposition, which will be helpful for the research of fuel cell electrode in the future.

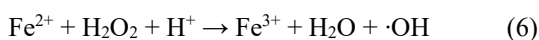
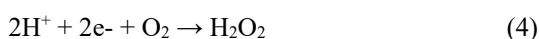
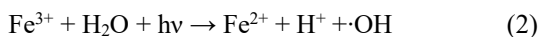
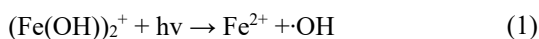
Keywords: Fuel cell; Electrophoretic deposition; Titanium dioxide; Carbon nanotube; SS316L.

1. 前言

1.1 研究背景與目的

隨著科技與工業的快速發展，人口不斷的増加，能源問題也隨著人口增加而受到重視，但是隨著工業進步的過程帶來對環境的影響，其中許多工廠將未經處理污廢水直接排放，造成的環境汙染成為全體人類必須重視的議題。

高級氧化程序(Advanced Oxidation Processes, AOPs)之芬頓反應(Fenton)具有處理污廢水之功效，然而芬頓反應過程中會產生大量的鐵汙泥，因此，透過改良後便發展為光電-芬頓反應(Photo-Electro-Fenton)，其結合燃料電池可具有陽極產電暨陰極淨化汙染物之功效。其中二次反應接受電子還原成二價鐵離子(Fe²⁺)，能降低鐵汙泥的產生，且能夠藉由光歧化反應(Disproportionation reaction)將過氧化氫分解為氫氧自由基(·OH)，使其降解效率增加，化學反應式如(1)~(6)所示^[1]。



1.2 研究動機

光電-芬頓法陰極降解效能之主要影響因素

之一為電極材料，電極材料的選擇主要指標為：(1)高導電性、(2)高比表面積、(3)高穩定性、(4)良好的耐腐蝕性等^[2]；而目前多數電極材料為碳質材料，惟碳質材其導電效率不如金屬且材質硬脆無法加工。近來金屬基材開始受到重視，其具備優良導電性及加工性；因此，基材表面處理成為可行方向。

SS316L 不銹鋼具有良好的導電性，於光電-芬頓系統中具良好之發展潛能，惟其電化學活性仍不及於碳質材料。奈米碳管(Carbon nanotube, CNT)具有良好導電性及機械性質^[3]；二氧化鈦(Titanium dioxide, TiO₂)具有良好的光催化活性、高化學穩定性、無毒性及長期耐用性等特性^[4]。Yu 等人^[5]發現，奈米碳管(CNT)複合二氧化鈦(TiO₂)可強化其光催化性能，並促進氫氧自由基(·OH)之生成。本實驗透過電泳沉積技術將二氧化鈦(TiO₂)、奈米碳管(CNT)沉積於 SS316L 表面製備複合式電極。並且探討本實驗不同時間電泳沉積 TiO₂ 對光電-芬頓系統效能之影響。

2. 實驗方法

2.1 實驗架構

本研究將先以相同時間參數電泳沉積奈米碳管(CNT)於 SS316L 表面，再分別進行 1、3、5 分鐘(min)電泳沉積二氧化鈦(TiO₂)作為光電-芬頓系統之陰極電極進行性能分析，以探討不同時間參數電泳沉積二氧化鈦(TiO₂)對系統之優化效果。實驗包括：(1) 線性掃描伏安法分析電極生成過氧化氫之能力；(2) 循環伏安法分析電極之電荷

捕獲能力；(3) 接觸角量測儀進行親水性量測；(4) 掃描式電子顯微鏡觀察電極表面形貌；(5) 光電-芬頓系統脫色試驗驗證系統染劑降解效能；實驗流程圖如圖 1 所示。

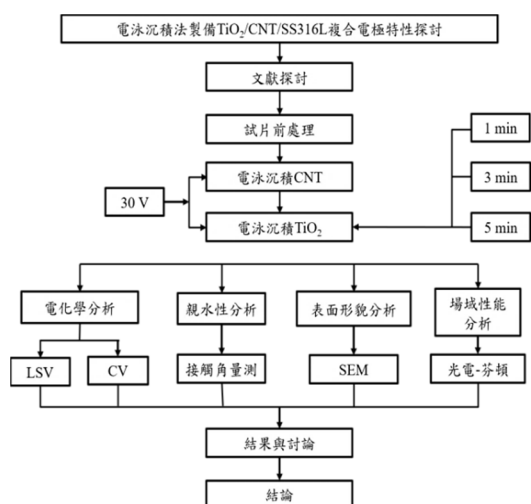


圖 1 實驗流程圖。
Figure 1 Experimental flowchart.

2.2 SS316L 基材前處理

本研究使用 SS316L 作為基材，尺寸為 80 mm × 25 mm × 2 mm，依序使用# 100~# 1000 號水砂紙，在拋光機上依序進行研磨，研磨完成後再將 SS316L 基材浸泡於丙酮中進行清洗，最後再以蒸餾水沖洗，將表面油性及污漬去除，依丙酮、蒸餾水順序各做 10 分鐘清洗，SS316L 處理流程如圖 2 所示。

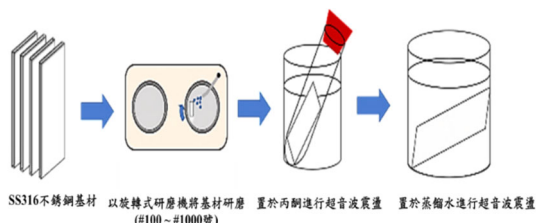


圖 2 SS316L 前處理流程示意圖。
Figure 2 The pretreatment process for SS316L.

2.3 電泳沉積懸浮液配製

本研究利用精密微量天秤量取奈米碳管

(CNT)及二氧化鈦(TiO₂)粉末，其重量百分比分別為 1：1，將其分別置於丙酮溶劑中攪拌均勻，再將硝酸鎂(Magnesium Nitrate, Mg(NO₃)₂)加入至溶液中攪拌均勻，以提升懸浮液之導電度，即完成本研究之電泳沉積懸浮液。

2.4 電極製備

本研究以批次式形式施以電泳沉積程序，其先於 SS316L 表面進行奈米碳管(CNT)鍍層製備，而後再以不同時間進行二氧化鈦(TiO₂)之電泳沉積。實驗以直流電源供應器系統(DC power supply, IPD52D, Motech Industries Inc)為電源，而陽極與陰極皆連接 SS316L 電極，實驗架設圖如圖 3 所示。首先，調配 50 mL 奈米碳管(CNT)懸浮液，置入電泳槽中進行 1 分鐘電泳沉積，並放入真空烘箱以 70 °C 烘烤 2 小時，使表面之丙酮得以揮發。而後再取 50 mL 二氧化鈦(TiO₂)懸浮液，置入於電泳槽體中，並分別進行 1、3 及 5 分鐘電泳沉積，而後在於真空烘箱中以 70 °C 烘烤 2 小時使表面之丙酮得以完全揮發，取出並待其冷後即完成本研究之複合電極 (TiO₂/CNT/SS316L)。

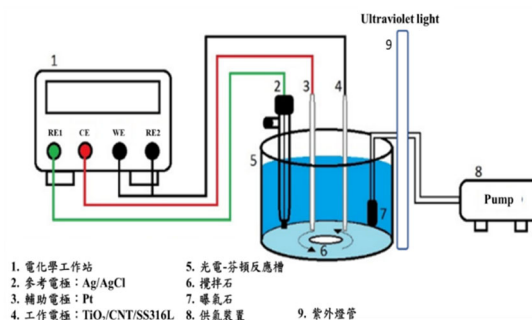


圖 3 光電-芬頓場域架設圖。
Figure 3 Schematic diagram of the Photo-Electro Fenton.

2.5 線性掃描伏安法

本研究以電化學量測分析儀(Electrochemical

Workstation, Zive SP1, WonATech CO)進行線性掃描伏安測試，調配 0.1 M 之硝酸鉀(KNO₃)溶液為測試場域，實驗進行前將溶液以流量 150 sccm 之氧氣(O₂)施以曝氣處理；各電極於掃描電位 0 ~ -1 V 間對應之響應電流值，藉此判讀電極在系統中其過氧化氫(H₂O₂)之生成能力^[6]。

2.6 循環伏安法

本研究以電化學量測分析儀(Electrochemical Workstation, Zive SP1, WonATech CO)，測試溶液為 0.1 M 硝酸鉀(KNO₃)電解質及 20 ppm 之亞鐵(Fe²⁺)混合液，並將酸鹼值調整至 3.0；各電極於以掃描速率 10 mV/s 及掃描電位 1 ~ -1 V 進行，並以庫倫定律計算其電荷捕獲量，藉此判讀各電極在系統中過氧化還原之能力^[7]。

2.7 接觸角量測

本研究利用接觸角量測分析儀(Contact angle measuring instrument, OSA-100, Ningbo NB Scientific Instruments CO)並以固定 23 μL 之蒸餾水進行接觸角量測，則接觸角越大則代表材料越疏水，反之接觸角越小則代表材料越親水。量測過程中需在不同之 5 個位置進行量測，以得到複合電極表面之接觸角。

2.8 掃描式電子顯微鏡

本研究以掃描式電子顯微鏡(Scanning Electron Microscopy, SEM, JEOL JSM-IT100)以加速電壓 15.0 kV 進行拍攝，於實驗前先進行鍍白金(Pt)處理 1 分鐘，以利於觀察不同時間參數電泳沉積二氧化鈦(TiO₂)之複合電極表面形貌並進行分析與探討。

2.9 光電-芬頓系統脫色效率試驗

本研究藉由羅丹明 B (Rhodamine B, RhB)染

劑為場域降解之目標物，並以紫外燈管(Sankyo Denki C8T5, 254 nm, 8W)作為激發二氧化鈦(TiO₂)之光源；實驗以恆電位儀(Potentiostat, ECW-5600, Jiehan)提供系統運作所需之電能，光電-芬頓場域架設示意如圖 3 所示。實驗每 3 分鐘取樣一次，並將溶液置於可見光分光光度計(Visible Spectrophotometer, SH-U880, Shishin technology)中量測其吸光值，總計實驗時間為 30 分鐘。再以一階動力學方程式擬合不同複合電極之反應速率，其中 k 為反應速率(min⁻¹)，如方程式(7)所示。

$$\ln\left(\frac{[\text{Rh B}]}{[\text{RhB}]_0}\right) = -kt \quad (7)$$

3. 結果與討論

3.1 線性掃描伏安法

線性伏安掃描法場域性能分析時，其中過氧化氫產率為其中影響因素，當過氧化氫產率越高，產生氫氧自由基(·OH)能力將越強。Zhang 等人^[8]研究指出，修飾電極表現出較高的響應電流而有更高電流響應，相應增加過氧化氫(H₂O₂)產率，可使複合電極有可能成為有效的電芬頓陰極。因此本研究藉由線性掃描伏安法(LSV)量測電極其響應電流大小。

各複合電極之響應電流如圖 4 所示，根據 Wang 等人^[9]之研究結果，SS316L 不銹鋼電極在電位-0.9 V 處進行電芬頓反應，其可獲得最高脫色效率。故本實驗採用位於-0.9 V 之響應電流值作為參考指標，而 SS316L 基材與經沉積時間 1、3 及 5 分鐘所製備電極，其響應電流值依序為 0.534、0.629、0.861 與 0.975 mA/cm²，可看出經二氧化鈦(TiO₂)及奈米碳管(CNT)修飾的電極，隨著 TiO₂ 沉積時間愈高，於 5 分鐘時具有大的響應電流值 0.975 mA/cm²。表示以電泳沉積 5 分鐘時的 TiO₂/CNT/SS316L 電極於場域性能分析時具

有最佳的過氧化氫產率；結果顯示，經奈米碳管 (CNT)及不同沉積時間二氧化鈦(TiO₂)修飾之電極響應電流值均優於未經修飾的 SS316L 基材，而隨著沉積時間增加，響應電流值相應增長且在沉積 5 分鐘時具有最佳的表現。

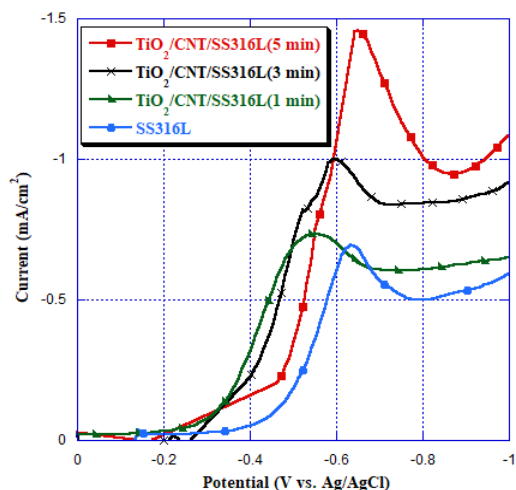


圖 4 不同電泳沉積時間製備 TiO₂/CNT/SS316L 電極之線性掃描伏安曲線。

Figure 4 The linear scanning voltammetry curve of TiO₂/CNT/SS316L prepared by different electrophoretic deposition time.

3.2 循環伏安法

循環伏安法量測為分析電極之氧化還原能力，其氧化還原能力越強，將有利於場域性能分析的進行^[10]。透過循環伏安法掃描顯示，電荷載體捕獲能力提升，進而改善氧化還原過程中薄膜之導電性；本研究透過利用庫倫定律 $Q = I \times T$ 計算電荷捕獲量。 Q 為電荷捕獲量；單位為庫倫 (C)； I 為循環伏安曲線中，每個掃描時間對應響應電流值； T 為總掃描時間^[11]。結果顯示，SS316L 基材與電泳沉積二氧化鈦(TiO₂)時間分別為 1、3、5 分鐘之電極，電荷捕獲量依序為 0.021、0.046、0.048、0.052 C，其中以沉積 5 分鐘擁有最大的電荷捕獲量，相比於 SS316L 增加了 0.031 C，本實驗之結果將會影響後續的場域

性能分析。各電極之循環伏安量測結果，如圖 5 所示。

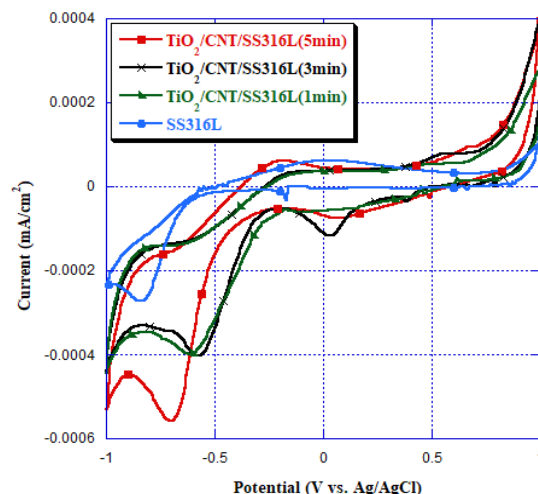


圖 5 不同電泳沉積時間製備 TiO₂/CNT/SS316L 電極之循環伏安曲線。
Figure 5 The cyclic voltammetry curve of TiO₂/CNT/SS316L prepared by different electrophoretic deposition time.

3.3 接觸角量測

電極表面之親水性決定反應溶液貼合程度，影響系統降解效率；本研究以接觸角分析儀檢測各電極之親水性，而親水性可由接觸角推估，其越小接觸角及代表親水性越佳。實驗結果如圖 6 所示，顯示未修飾之 SS316L 基材水滴接觸角為 90.8°，最為疏水；電泳沉積 1 分鐘之電極水滴接觸角為 47.3°；電泳沉積 3 分鐘之電極水滴接觸角為 40.0°；電泳沉積 5 分鐘之電極水滴接觸角為 31.5°，最為親水。顯示，隨著二氧化鈦(TiO₂)沉積時間的增長接觸角逐漸降低，及電極之親水性得到提升。根據 Ratova 等人研究指出^[13]，二氧化鈦(TiO₂)經光照後將呈現親水性能，其可促進溶液中之溶氧(O₂)貼合光觸媒材料，促進過氧化氫(H₂O₂)生成，與 3.1 章節所得之結果吻合。顯示提升二氧化鈦(TiO₂)沉積時間對 SS316L 電極進行修飾，可顯著改善其親水性能。

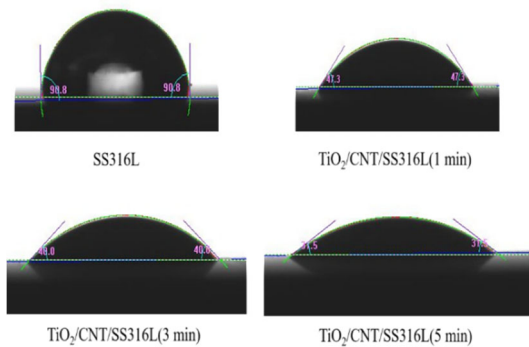


圖 6 不同電泳沉積時間製備 TiO₂/CNT/SS316L 電極接觸角量測圖。
Figure 6 The image for contact angle of TiO₂/CNT/SS316L with different electrophoretic deposition time.

3.4 掃描式電子顯微鏡

材料微觀結構將影響光電-芬頓系統之反應效率，固本研究使用掃描式電子顯微鏡(SEM)觀察各電極之表面形貌。圖 7 為二氧化鈦(TiO₂)電泳沉積 1 分鐘之電極經放大 10,000 倍表面微觀形貌圖，其中管狀結構為奈米碳管(CNT)，顆粒狀為二氧化鈦(TiO₂)；表示經電泳沉積後，二氧化鈦(TiO₂)與奈米碳管(CNT)均已成功附著於基材上，且經 Image J 擬合後表面鍍層孔隙率為 11.9%。圖 8 為二氧化鈦(TiO₂)電泳沉積 3 分鐘之電極經放大 10,000 倍表面微觀形貌圖，可發現增加電泳沉積時間使二氧化鈦(TiO₂)開始產生團聚現象，Image J 擬合後其孔隙率為 9.08%。圖 9 為二氧化鈦(TiO₂)電泳沉積 5 分鐘之電極經放大 10,000 倍表面微觀形貌圖，可發現經電泳沉積 5 分鐘後，二氧化鈦(TiO₂)均勻地附著於奈米碳管(CNT)上，且鍍層表面之缺陷顯著降低，經 Image J 擬合後其孔隙率為 7.3%。Chang 等人^[14]指出，表面之孔洞與缺陷將對二氧化鈦(TiO₂)薄膜產生負面影響，若透過多次電泳沉積以提升二氧化鈦(TiO₂)披覆緻密性，能有效減少電極表面缺陷的產生。與本研究藉由提升電泳沉積時間控制其緻密性，具相同之實驗結果；而增加電泳沉

積之時間參數能夠降低表面之缺陷，進而提升電極於進行電化學反應過程之響應電流及電荷捕獲量，與 3.1 ~ 3.2 章節結果相符。

綜上所述，本研究成功使二氧化鈦(TiO₂)與奈米碳管(CNT)附著於 SS316L 基材上，且透過增長二氧化鈦(TiO₂)電泳沉積時間參數成功製備 TiO₂/CNT/SS316L 電極，將有利於減少電極表面缺陷之產生，進而改善光電-芬頓反應效率。

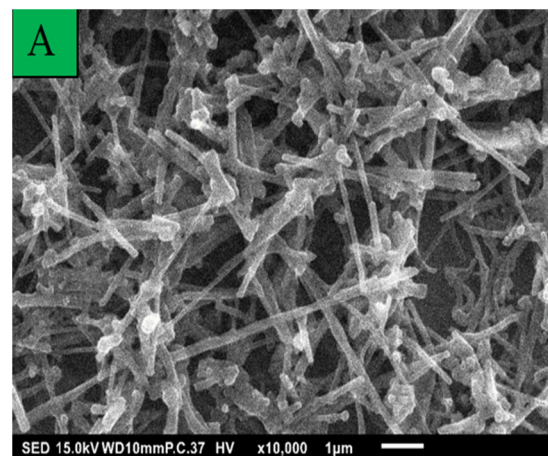


圖 7 電泳沉積 1 分鐘製備 TiO₂/CNT/SS316L 電極表面微觀形貌圖 (放大倍率：10,000 倍)。
Figure 7 The SEM image of TiO₂/CNT/SS316L prepared by electrophoretic deposition for 1 min. (Magnified 10,000 times).

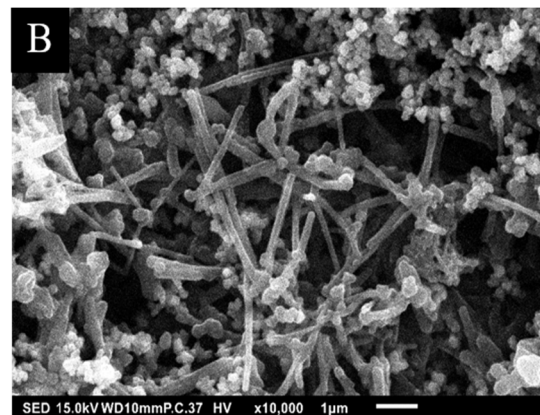


圖 8 電泳沉積 3 分鐘製備 TiO₂/CNT/SS316L 電極表面微觀形貌圖 (放大倍率：10,000 倍)。
Figure 8 The SEM image of TiO₂/CNT/SS316L prepared by electrophoretic deposition for 3 min. (Magnified 10,000 times).

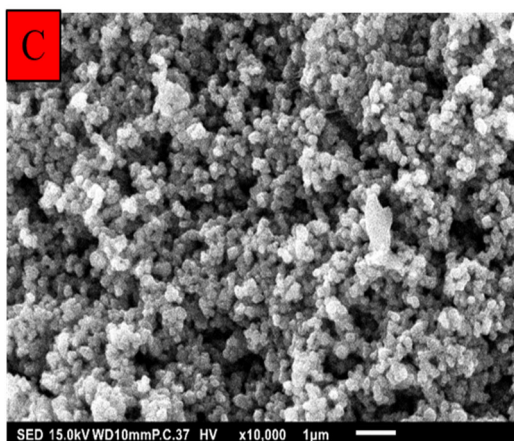


圖 9 電泳沉積 5 分鐘製備 TiO₂/CNT/SS316L 電極表面微觀形貌圖 (放大倍率：10,000 倍)。

Figure 9 The SEM image of TiO₂/CNT/SS316L prepared by electrophoretic deposition for 5 min. (Magnified 10,000 times).

3.5 光電-芬頓系統脫色效率試驗

本研究利用光電-芬頓系統分析各電極之性能，並以 RhB 染劑模擬汗廢水處理槽之污染物，圖 10 為各電極之線性迴歸擬合曲線，顯示經擬合後各電極之 R² 值皆大於等於 0.95，表示各電極在經 30 分鐘之光電-芬頓脫色試驗結果皆符合一階動力學反應^[15]。反應常數(k)方面，顯示系統之反應常數(k)隨著電泳沉積時間上升而呈正相關，其中經 5 分鐘電泳沉積電極具最高之系統反應速率 0.022 min⁻¹。系統反應常數越大，表示電極於光電-芬頓系統具較高之反應速率，各電極之一階動力學擬合數據，如表 1 所示。

於 3.3 ~ 3.4 節實驗結果顯示，增加電泳沉積時間能減少二氧化鈦(TiO₂)層之缺陷與孔洞，同時改善電極親水性，藉此提升光電-芬頓系統之反應效率。根據 Xia 等人^[16]之研究成果，奈米碳管具較大電子儲存容量，藉此接收二氧化鈦(TiO₂)激發後所產生之電子；且奈米碳管具較大之比表面積，可降低二氧化鈦之電子電洞對再次結合之速度，改善二氧化鈦之光催化效果。於 3.1 節實驗結果所示，經電泳沉積 5 分鐘之電極

具最高之響應電流，相較於未經修飾之 SS316L 電極提升 1.83 倍，與電極親水性能呈正相關。

綜上所述，經電泳沉積 5 分鐘之電極可獲得最高之系統反應速率 0.022 min⁻¹，為未經修飾之 SS316L 之 3.33 倍。

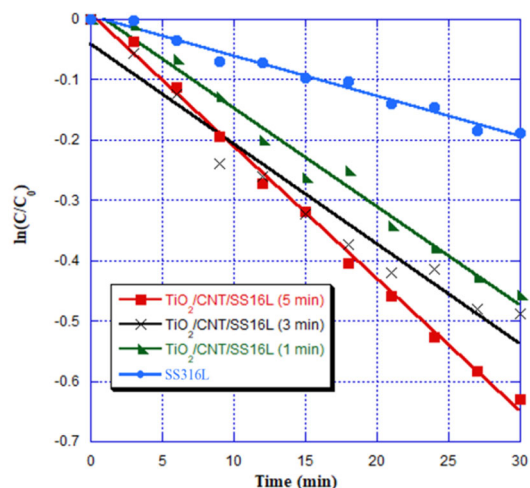


圖 10 不同電泳沉積時間製備 TiO₂/CNT/SS316L 電極之線性迴歸擬合曲線。

Figure 10 The first-order kinetic fits of TiO₂/CNT/SS316L prepared by different electrophoretic time.

表 1 不同電泳沉積時間製備 TiO₂/CNT/SS316L 電極之一階動力學擬合數值。

Table 1 The first-order kinetic fits of TiO₂/CNT/SS316L prepared by different electrophoretic deposition time.

陰極	k (min ⁻¹)	R ²
SS316L	0.007	0.98
電泳沉積 1 分鐘 (1 min)	0.016	0.98
電泳沉積 3 分鐘 (3 min)	0.017	0.95
電泳沉積 5 分鐘 (5 min)	0.022	0.97

4. 結論

本研究應用二氧化鈦(TiO₂)及奈米碳管(CNT)製備 TiO₂/CNT/SS316L 電極之特性研究獲致結論如下：

1. 在線性伏安掃描法方面，於工作電位-0.9 V 區間，經電泳沉積 5 分鐘之電極具有較大之響應電流值 0.975 mA/cm^2 ，為基材 0.534 mA/cm^2 之 1.83 倍。在循環伏安法方面，顯示電泳沉積 5 分鐘之電極具最大電荷捕獲量 0.52 C，為基材 0.21 C 之 2.47 倍。
2. 在接觸角量測方面，經電泳沉積二氧化鈦(TiO_2)電極均有效降低接觸角，並提升其親水性，其中以電泳沉積 5 分鐘之電極具有最小之接觸角。經掃描式電子顯微鏡觀察後，顯示二氧化鈦(TiO_2)及奈米碳管(CNT)在成功附著於基材表面，並且透過控制電泳沉積之時間參數，能有效使二氧化鈦(TiO_2)之披覆量顯著提升及減少二氧化鈦(TiO_2)層上之孔洞與缺陷，有利於光催化效應獲得提升。
3. 在光電-芬頓系統脫色效率試驗方面，以電泳沉積 5 分鐘之電極具最高反應速率，其次為電泳沉積 3 分鐘電極、電泳沉積 1 分鐘電極，而最差者為基材；顯示，經電泳沉積 5 分鐘製備電極其降解效率明顯獲得提升。二氧化鈦(TiO_2)具良好之光催化特性能激發電子-電洞對，而奈米碳管(CNT)可抑制二氧化鈦(TiO_2)之電子電洞對再結合，進而提高光電-芬頓反應效率。

本研究以二氧化鈦(TiO_2)複合奈米碳管(CNT)電泳沉積於SS316L不銹鋼為複合電極，其電極親水性及電化學性質皆獲得提升，進一步提供光電-芬頓系統降解 RhB 染料效率之優化機能，其成果利於未來燃料電池陰極材料發展選用之潛力。

致謝

承蒙科技部研究計畫編號 MOST 108-2221-E-197-014 之支持，使本研究得以順利進行，特此致上感謝之意。

參考文獻

- [1] "A review on the photoelectro-Fenton process as efficient electrochemical advanced oxidation for wastewater remediation. Treatment with UV light, sunlight, and coupling with conventional and other photo-assisted advanced technologies", E. Brillas, *Chemosphere*, 250 (2020) p. 126198.
- [2] "Biochar as a sustainable electrode material for electricity production in microbial fuel cells", T. Huggins, H. Wang, J. Kearns, P. Jenkins, and Z. J. Ren, *Bioresource Technology*, 157 (2014) pp. 114-119.
- [3] "Carbon nanotubes modified with catalyst—Promising material for fuel cells", M. O. Danilov and A. V. Melezhyk, *Journal of Power Sources*, 163 (2006) pp. 376-381.
- [4] " TiO_2 nanobelts – Effect of calcination temperature on optical, photoelectrochemical and photocatalytic properties", Q. Chen, H. Liu, Y. Xin, and X. Cheng, *Electrochimica Acta*, 111 (2013) pp. 284-291.
- [5] "Enhancement of photocatalytic activity of mesoporous TiO_2 by using carbon nanotubes", Y. Yu, J. C. Yu, J. G. Yu, Y. C. Kwok, Y. K. Che, J. C. Zhao, L. Ding, W. K. Ge, and P. K. Wong, *Applied Catalysis A: General*, 289 (2005) pp. 186-196.
- [6] "A complete numerical simulation of the techniques of alternating current linear sweep and cyclic voltammetry: analysis of a reversible process by conventional and fast Fourier transform methods", D. J. Gavaghan and A. M. Bond, *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 480 (2000) pp. 133-149.

- [7] "Investigation of the lamination of electrospun graphene-poly (vinyl alcohol) composite onto an electrode of bio-electro-fenton microbial fuel cell", Y. T. Wang and Y. K. Wang, *Nanomaterials and Nanotechnology*, 7 (2017) pp. 1-12.
- [8] "Design of a novel and efficient electro-Fenton cathode with skeleton of melamine foams", Y. Zhang, Z. Chen, P. Wu, Y. Duan, Y. Zhao, L. Zhou, Y. Lai, and F. Wang, *Materials Letters*, 239 (2019) pp. 196-199.
- [9] "Study on Decolorization of Rhodamine B by SS304L, SS316 Stainless Steel and Titanium Cathode Electrode in Dual-Cell Electro-Fenton", Y. T. Wang, Y. C. Hsieh, Y. C. Lin, and Y. H. Li, *Journal of the Chinese Society of Mechanical Engineers*, 40 (2019) pp. 407-412.
- [10] "Comparison between cyclic voltammetry and differential charge plots from galvanostatic cycling", M. S. Palagonia, C. Erinmwingbovo, D. Brogioli, and F. La Mantia, *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 847 (2019) p. 113170.
- [11] "Cyclic voltammetry measurements of electroactive surface area of porous nickel: Peak current and peak charge methods and diffusion layer effect", P. Zhu and Y. Zhao, *Materials Chemistry and Physics*, 233 (2019) pp. 60-67.
- [12] "Application of ToF-SIMS to predict contact angles of pyrite particles", S. Xu, D. Cheng, W. Skinner, and S. Brito e Abreu, *Minerals Engineering*, 147 (2020) p. 106168.
- [13] "Highly efficient photocatalytic bismuth oxide coatings and their antimicrobial properties under visible light irradiation", M. Ratova, J. Redfern, J. Verran, and P. J. Kelly, *Applied Catalysis B: Environmental*, 239 (2018) pp. 223-232.
- [14] "Fabrication of multilayer TiO₂ thin films for dye-sensitized solar cells with high conversion efficiency by electrophoresis deposition", H. Chang, H. T. Su, W. A. Chen, K. David Huang, S. H. Chien, S. L. Chen, and C. C. Chen, *Solar Energy*, 84 (2010) pp. 130-136.
- [15] "NaHCO₃ enhanced Rhodamine B removal from aqueous solution by graphite-graphite electro Fenton system", P. V. Nidheesh, R. Gandhimathi, and N. S. Sanjini, *Separation and Purification Technology*, 132 (2014) pp. 568-576.
- [16] "Preparation of multi-walled carbon nanotube supported TiO₂ and its photocatalytic activity in the reduction of CO₂ with H₂O", X. H. Xia, Z. J. Jia, Y. Yu, Y. Liang, Z. Wang, and L. L. Ma, *Carbon*, 45 (2007) pp. 717-721.