DOI: 10.31276/VJST.63(11DB).42-46

Tổng hợp vật liệu lai ghép dạng Z g-C_3N_4/V_2O_5 có hoạt tính quang xúc tác cao trong vùng ánh sáng nhìn thấy

Mai Hùng Thanh Tùng[1*], Đoàn Thị Hồng Ngọc[1], Nguyễn Ngọc Kim Tuyến[1], Đỗ Minh Thế[2], Cao Văn Hoàng[2], Nguyễn Thị Diệu Cẩm[2]

[1]Khoa Công nghệ hóa học, Trường Đại học Công nghiệp Thực phẩm TP Hồ Chí Minh
[2]Khoa Khoa học tự nhiên, Trường Đại học Quy Nhơn

Ngày nhận bài 9/9/2021; ngày chuyển phản biện 13/9/2021; ngày nhận phản biện 11/10/2021; ngày chấp nhận đăng 15/10/2021

Tóm tắt:

Vật liệu xúc tác quang lai ghép Z graphitic carbon nitride/vanadi pentaoxit (g-C_3N_4/V_2O_5) được tổng hợp bằng phương pháp nhiệt pha rắn có sự hỗ trợ của siêu âm. Các vật liệu tổng hợp được đặc trưng bằng phương pháp nhiễu xạ tia X (XRD), phổ phản xạ khuếch tán tử ngoại - khả kiến (UV-Vis-DRS), kính hiển vi điện tử quét (SEM), phổ quang phát quang (PL). Quá trình ôxy hóa tetracycline hydrochloride (TC) được sử dụng để đánh giá hoạt tính quang xúc tác của vật liệu g-C_3N_4/V_2O_5. Vật liệu này được tổng hợp ở các tỷ lệ khối lượng g-C_3N_4/V_2O_5 lần lượt là 5, 10, 15 và 20% (CV-x), trong đó CV-15 (tỷ lệ khối lượng g-C_3N_4/V_2O_5 15%) cho hiệu suất xúc tác quang cao nhất (79,67% sau 2 giờ). Vật liệu lai ghép g-C_3N_4/V_2O_5 có hoạt tính cao hơn so với từng vật liệu g-C_3N_4 và V_2O_5 riêng lẻ có thể là do sự phân tách hiệu quả của cặp điện tử và lỗ trống quang sinh trong vật liệu lai ghép thể hiện trong cơ chế quang xúc tác phân hủy TC của g-C_3N_4/V_2O_5.

Từ khóa: **ánh sáng nhìn thấy, g-C_3N_4/V_2O_5, hoạt tính quang xúc tác, tái tổ hợp, tetracycline hydrochloride.**

Chỉ số phân loại: **2.4**

Đặt vấn đề

Ô nhiễm môi trường đang ảnh hưởng xấu và ngày càng nghiêm trọng đến đời sống của con người ở mức độ toàn cầu nên việc nghiên cứu xử lý các hợp chất hữu cơ độc hại khó phân hủy sinh học là mối quan tâm hàng đầu của mỗi quốc gia. Một trong những giải pháp được quan tâm hiện nay là áp dụng phương pháp ôxy hóa tiên tiến sử dụng các chất bán dẫn có hoạt tính xúc tác quang để phân hủy chất hữu cơ mang lại hiệu quả cao, sản phẩm cuối cùng là carbon dioxide, nước và các chất khác không/hoặc ít độc hại hơn [1]. Nhiều chất bán dẫn có hoạt tính xúc tác quang đã được nghiên cứu và ứng dụng vào quá trình này. Một trong số những chất bán dẫn đã thu hút nhiều sự chú ý hiện nay là g-C_3N_4 - một dạng chất bán dẫn polyme hữu cơ không kim loại, có cấu trúc lớp như graphen được ứng dụng làm xúc tác quang tách nước tinh khiết, chuyển hóa CO_2, phân hủy chất hữu cơ gây ô nhiễm ngay trong vùng ánh sáng khả kiến [2]. Ưu điểm của vật liệu g-C_3N_4 là có năng lượng vùng cấm hẹp (khoảng 2,7 eV), diện tích bề mặt cao, hình thái độc đáo. Tuy nhiên, nhược điểm của g-C_3N_4 tinh khiết là có tốc độ tái tổ hợp giữa các lỗ trống và điện tử quang sinh khá nhanh, dẫn đến hiệu quả quang xúc tác không cao. Để khắc phục nhược điểm này, nhiều phương pháp biến tính g-C_3N_4 đã được áp dụng nhằm tăng hoạt tính xúc tác quang của vật liệu này. Chẳng hạn như pha tạp g-C_3N_4 với các nguyên tố phi kim khác (C, Ce, S...) [3, 4], nổi bật lên là phương pháp kết hợp g-C_3N_4 với các vật liệu bán dẫn khác (TiO_2, WO_3, Ag_3PO_4, $BiVO_4$…) [5-10], hệ vật liệu composite thu được có hoạt tính quang xúc tác vượt trội hơn nhiều so với các hợp phần riêng lẻ.

Bên cạnh đó, V_2O_5 - một chất bán dẫn oxit kim loại chuyển tiếp quan trọng đã thu hút nhiều sự chú ý trong việc ứng dụng làm chất xúc tác quang phân hủy chất hữu cơ gây ô nhiễm dưới ánh sáng khả kiến. V_2O_5 có nhiều ưu điểm như năng lượng vùng cấm hẹp (khoảng 2,10 eV), khả năng hấp thụ mạnh ánh sáng trong vùng khả kiến, nhưng khi ở dạng nguyên chất, chất bán dẫn này cũng có nhược điểm cố hữu là tốc độ tái tổ hợp giữa các electron và lỗ trống quang sinh khá nhanh [11, 12]. Do vậy, tương tự g-C_3N_4, nhiều nhà khoa học đã nghiên cứu biến tính V_2O_5 bằng nhiều tác nhân biến tính khác nhau [13-16].

Trong nghiên cứu này, để khắc phục nhược điểm của từng vật liệu riêng lẻ, g-C_3N_4 được lai ghép với V_2O_5 bằng phương pháp nhiệt pha rắn có hỗ trợ siêu âm nhằm thu được vật liệu lai ghép có hoạt tính quang xúc tác cao, ứng dụng phân hủy chất kháng sinh ô nhiễm trong môi trường nước ở vùng ánh sáng nhìn thấy.

Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu

Vật liệu g-C_3N_4 và V_2O_5 được tổng hợp lần lượt từ tiền chất $(NH_2)_2CO$ và NH_4VO_3 bằng phương pháp nhiệt pha rắn; vật liệu g-C_3N_4/V_2O_5 được tổng hợp từ g-C_3N_4 và V_2O_5 bằng phương pháp nhiệt pha rắn có hỗ trợ siêu âm ở quy mô phòng thí nghiệm.

[*]Tác giả liên hệ: Email: maihungthanhtung@gmail.com

Synthesis of Z-scheme g-C_3N_4/V_2O_5 photocatalyst with high activity under visible light

Hung Thanh Tung Mai[1*], Thi Hong Ngoc Doan[1], Ngoc Kim Tuyen Nguyen[1], Minh The Do[2], Van Hoang Cao[2], Thi Dieu Cam Nguyen[2]

[1]Faculty of Chemical Engineering, Ho Chi Minh City University of Food Industry
[2]Department of Natural Sciences, Quy Nhon University

Received 9 September 2021; accepted 15 October 2021

Abstract:

Direct Z-scheme g-C_3N_4/V_2O_5 photocatalysts were prepared through a sonication-assisted calcination method. The obtained samples were characterised by X-ray diffraction (XRD), Ultraviolet-visible diffuse reflectance spectroscopy (UV-Vis-DRS), Scanning electron microscope (SEM), and Photoluminescence spectroscopy (PL). Oxidations of tetracycline hydrochloride (TC) were employed to evaluate the photocatalytic activities of the obtained g-C_3N_4/V_2O_5 materials. Different weight ratios (5, 10, 15, and 20%) of g-C_3N_4/V_2O_5 loaded composites were prepared, in which a 15% (CV-15) loaded composite was found to show optimal catalytic performance for the reaction. The degradation conversation of TC has achieved approximately 79.67% in CV-15 after a 2-hour reaction. g-C_3N_4/V_2O_5 photocatalyst was more active than the individual g-C_3N_4 and V_2O_5 materials, which could be attributed to the efficient separation of photogenerated electron-hole pairs shown in the photocatalytic mechanism of TC degradation.

Keywords: **g-C_3N_4/V_2O_5, photocatalytic activity, recombination, tetracycline hydrochloride, visible light.**

Classification number: **2.4**

Chất kháng sinh tetracycline hydrochloride (TC).

Tổng hợp vật liệu

Vật liệu g-C_3N_4: ure được cho vào cối mã não nghiền mịn, sau đó cho vào chén sứ, bọc kín bằng nhiều lớp giấy tráng nhôm (nhằm ngăn cản sự thăng hoa của tiền chất cũng như làm tăng cường sự ngưng tụ tạo thành g-C_3N_4) rồi đặt vào lò nung. Nung nóng tiền chất ure ở 530°C và giữ nhiệt độ này trong 1 giờ, tốc độ gia nhiệt 5°C/phút. Sau đó để lò nguội tự nhiên đến nhiệt độ phòng, nghiền sản phẩm thành bột, thu được vật liệu g-C_3N_4.

Vật liệu V_2O_5: lấy 0,3 g NH_4VO_3 cho vào cối mã não rồi nghiền mịn, đem rung siêu sâm trong 15 phút, rồi sấy khô ở 80°C. Sau đó cho vào cốc sứ, nung ở 400°C, tốc độ gia nhiệt 5°C/phút, giữ nhiệt độ này trong 2 giờ để quá trình phân hủy xảy ra. Kết thúc quá trình nung, để nguội tự nhiên đến nhiệt độ phòng, thu được vật liệu V_2O_5.

Vật liệu g-C_3N_4/V_2O_5: bột V_2O_5 và g-C_3N_4 cho vào cốc theo tỷ lệ khối lượng g-C_3N_4/V_2O_5 lần lượt là 5, 10, 15 và 20%. Sau đó, phân tán hỗn hợp V_2O_5 và g-C_3N_4 vào dung môi nước (20 ml). Huyền phù thu được đem siêu âm trong 15 phút để có sự phân tán đồng nhất và khuấy dung dịch trên trong 2 giờ. Tiếp đó, sấy ở 80°C và nung ở 530°C (điều kiện yếm khí), giữ nhiệt độ này trong 1 giờ, tốc độ gia nhiệt 5°C/phút, sau đó làm mát tự nhiên đến nhiệt độ phòng. Vật liệu thu được ký hiệu là CV-x, với x là tỷ lệ khối lượng g-C_3N_4/V_2O_5 (5, 10, 15 và 20%).

Đặc trưng vật liệu

Thành phần pha được xác định bằng phương pháp XRD (D8-Advance 5005). Khảo sát hình ảnh bề mặt bằng phương pháp SEM (JEOL JSM-6500F). Khả năng hấp thụ ánh sáng của xúc tác được đặc trưng bằng phương pháp UV-Vis-DRS (máy UV-Vis-NIR Cary-5000 VARIAN, bước sóng 200-800 nm). Đặc tính tái tổ hợp giữa các electron và lỗ trống quang sinh được xác định bằng phương pháp PL (Fluoromax-4, HORIBA Jobin Yvon).

Thí nghiệm phân hủy TC

Lấy 0,1 g xúc tác cho vào các cốc 500 ml, rồi cho tiếp vào 200 ml dung dịch TC (10 mg/l), dùng giấy bạc bọc kín cốc, rồi khuấy đều cốc trên máy khuấy từ trong t giờ (khuấy trong bóng tối với t là thời gian đạt cân bằng hấp phụ) để cho quá trình hấp phụ - giải hấp phụ cân bằng. Gỡ giấy bạc và tiếp tục khuấy đều cốc hở dưới điều kiện ánh sáng đèn led tóc (220 V, 30 W). Dừng khuấy với thời gian tương ứng t=30, 60, 90, 120, 150 và 180 phút, rút khoảng 8 ml mẫu đem ly tâm lấy phần dung dịch trong. Nồng độ TC trong các mẫu dung dịch sau phản ứng thu được ở các thời gian khác nhau được xác định bằng phương pháp đo quang trên máy UV-Vis hiệu CE-2011.

Khảo sát ảnh hưởng của các chất dập tắt gốc

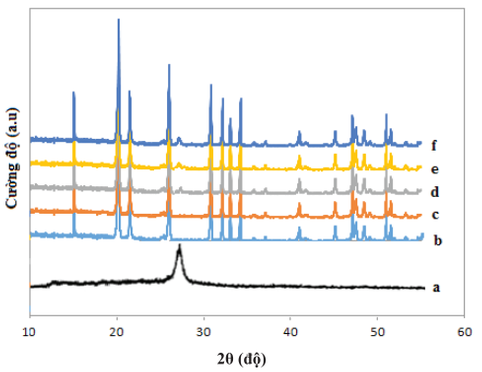
Quá trình xúc tác quang phân hủy TC được tiến hành ở những điều kiện giống nhau về lượng chất xúc tác (CV-15), nồng độ TC, cường độ chiếu sáng, thời gian chiếu sáng nhưng so sánh với 3 loại chất dập tắt gốc khác nhau. Các chất được chọn gồm: 1,4-Benzoquinone (BQ) được sử dụng để bẫy gốc anion $O_2^{\bullet-}$, tert-butyl ancohol (TBA) bẫy gốc $HO^{\bullet}$ và amonium oxalat (AO) bẫy h^+. Lượng chất dập tắt gấp 50 lần số mol TC được cho vào cùng với 0,1 g các vật liệu tổng hợp tương ứng và 200 ml TC 10 mg/l. Các bước tiếp theo tiến hành tương tự như quá trình khảo sát hoạt tính quang xúc tác.

Kết quả và thảo luận

Đặc trưng vật liệu

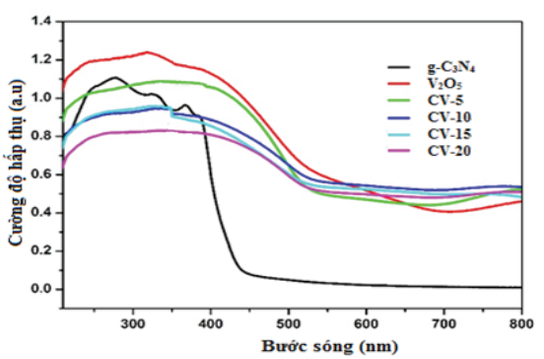
Để xác định các hợp phần trong vật liệu tổng hợp, g-C_3N_4, V_2O_5 và CV-x được đặc trưng bằng phương pháp XRD, kết quả được trình bày ở hình 1. Kết quả từ giản đồ XRD của g-C_3N_4, V_2O_5 và composite CV-x ở hình 1 cho thấy, đối với V_2O_5 có các

đỉnh nhiễu xạ ở khoảng 2θ bằng 15,04, 20,02, 26,01 và 31,05°, đặc trưng cho pha orthorhombic của V_2O_5 (theo JCPDS 75-0457) [11, 12, 15]. g-C_3N_4 xuất hiện đỉnh nhiễu xạ có cường độ mạnh tại ví trí góc 2θ bằng 27,401° là do sự sắp xếp của các hệ thống liên hợp thơm, tương ứng với mặt tinh thể (002), đỉnh nhiễu xạ có cường độ thấp hơn vị trí góc 2θ (13,012°) là do sự sắp xếp tuần hoàn các đơn vị tri-s-triazin, tương ứng với mặt tinh thể (001) đặc trưng cho cấu trúc g-C_3N_4 (theo JCPDS 87-1526) [6, 15]. Trong khi đó, trên giản đồ XRD của các vật liệu lai ghép CV-10, CV-15 và CV-20 xuất hiện các đỉnh nhiễu xạ đặc trưng cho cả 2 hợp phần g-C_3N_4 và V_2O_5, còn CV-5 chỉ xuất hiện các đỉnh nhiễu xạ đặc trưng cho hợp phần V_2O_5, điều này có thể do hàm lượng g-C_3N_4 nhỏ hoặc phân bố khá đồng đều trong vật liệu lai ghép.

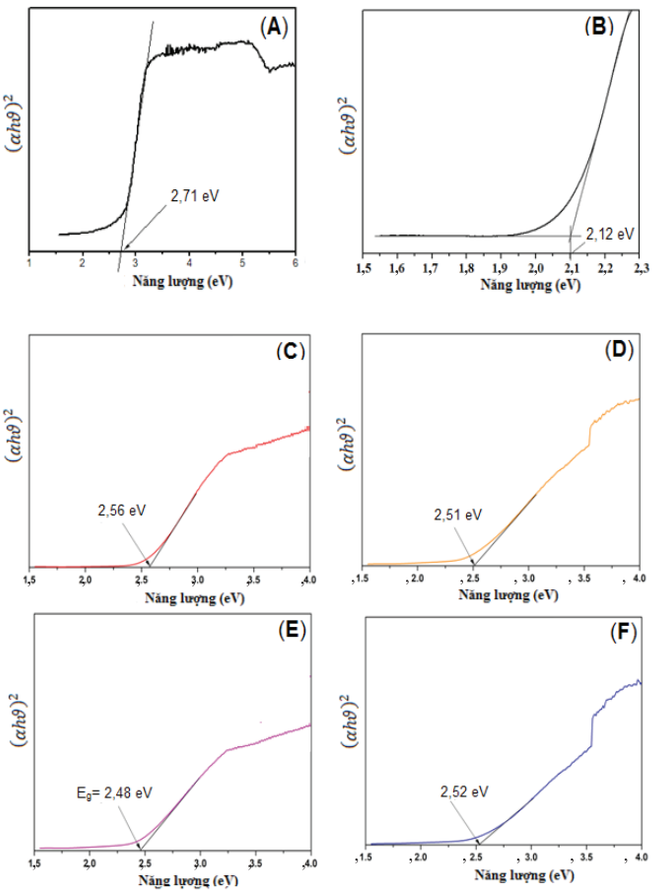


Hình 1. Giản đồ XRD của vật liệu g-C_3N_4 (a), V_2O_5 (b), CV-5 (c), CV-10 (d), CV-15 (e) và CV-20 (f).

Để xác định khả năng hấp thụ ánh sáng và giá trị năng lượng vùng cấm của g-C_3N_4, V_2O_5 và vật liệu composite, các vật liệu được đặc trưng bằng phương pháp UV-Vis-DRS, kết quả được trình bày ở hình 2. Kết quả thu được cho thấy, g-C_3N_4 và V_2O_5 đều có một dải hấp thụ bức xạ bắt đầu từ vùng tử ngoại trải dài sang vùng nhìn thấy, nhưng V_2O_5 có khả năng hấp thụ bức xạ trong vùng 400-800 nm mạnh hơn so với g-C_3N_4. Bên cạnh đó, phổ UV-Vis-DRS của các mẫu vật liệu lai ghép tổng hợp ở các tỷ lệ khối lượng g-C_3N_4/V_2O_5 khác nhau đều có bờ hấp thụ ánh sáng nhìn thấy mạnh hơn so với g-C_3N_4 và gần tương đương với V_2O_5 tinh khiết, nhưng có cường độ hấp thụ bức xạ khác nhau.



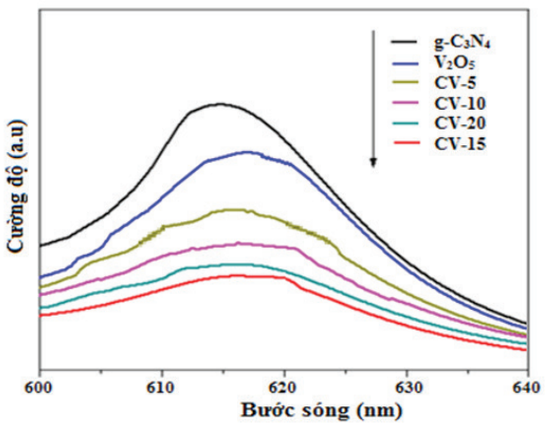
Hình 2. Phổ UV-Vis-DRS của vật liệu g-C_3N_4, V_2O_5 và CV-x.



Hình 3. Sự phụ thuộc hàm Kubelka-Munk theo năng lượng ánh sáng bị hấp thụ của các vật liệu g-C_3N_4 (A); V_2O_5 (B); CV-5-530 (C); CV-10-530 (D); CV-15-530 (E) và CV-20-530 (F).

Giá trị năng lượng vùng cấm của các vật liệu lai ghép CV-x tổng hợp được giảm so với g-C_3N_4. Việc thay đổi giá trị năng lượng vùng cấm cho phép dự đoán vật liệu lai ghép tổng hợp được có hoạt tính quang xúc tác tốt trong vùng ánh sáng nhìn thấy nhờ sự xúc tác hiệp trợ của g-C_3N_4 và V_2O_5 (hình 3).

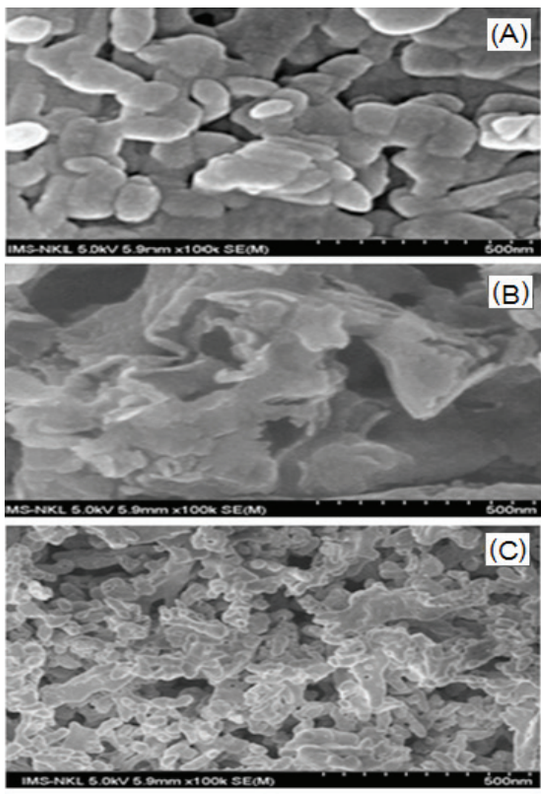
Từ kết quả PL ở hình 4 cho thấy, có sự giảm đáng kể cường độ phát quang từ mẫu vật liệu CV-5 đến CV-20. Khi các vật liệu tổng hợp bị kích thích ở 300 nm, xuất hiện cực đại phát xạ ở khoảng 450-470 nm, trong đó CV-15 có cường độ phát xạ thấp hơn so với các mẫu lai ghép có tỷ lệ khối lượng g-C_3N_4/V_2O_5 là 5, 10 và 20%, đồng thời thấp hơn nhiều so với g-C_3N_4 và V_2O_5. Kết quả PL đã chứng minh sự tái tổ hợp giữa các electron và lỗ trống quang sinh của CV-15 là nhỏ nhất, cụ thể: V_2O_5>g-C_3N_4>CV-5>CV-20>CV-10>CV-15. Điều này chứng tỏ, CV-15 có sự tái tổ hợp giữa các electron và lỗ trống quan sinh được hạn chế hiệu quả hơn so với các vật liệu lai ghép còn lại trong vùng khảo sát, tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình khuếch tán electron ra ngoài bề mặt để tương tác với các chất được hấp phụ trên bề mặt, giúp tăng hiệu quả xử lý



Hình 4. PL của các vật liệu g-C_3N_4, V_2O_5 và CV-x.

các chất ô nhiễm. Do đó, điều kiện tổng hợp mẫu vật liệu CV-15 được xem là thích hợp nhất trong vùng khảo sát và dự đoán khả năng hoạt động quang xúc tác của CV-15 cao hơn so với CV-5, CV-10 và CV-20.

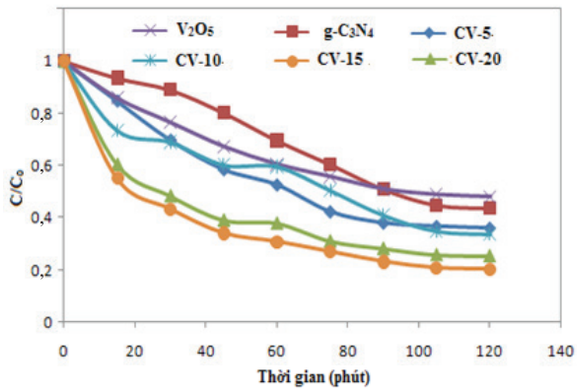
Để kiểm tra hình thái bề mặt ngoài của các mẫu vật liệu, g-C_3N_4, V_2O_5 và g-C_3N_4/V_2O_5 được xác định bằng SEM, các kết quả được trình bày ở hình 5. Từ ảnh SEM của mẫu vật liệu V_2O_5, g-C_3N_4 và composite CV-15 tổng hợp được cho thấy, g-C_3N_4 có dạng cấu trúc lớp, V_2O_5 là những hạt hình bầu dục, còn CV-15 có sự bao phủ một lớp g-C_3N_4 trên bề mặt những hạt hình bầu dục V_2O_5.



Hình 5. Ảnh SEM của các vật liệu g-C_3N_4 (A), V_2O_5 (B) và CV-15 (C).

Hoạt tính quang xúc tác

Sau khi khuấy hỗn hợp vật liệu xúc tác và dung dịch TC trong bóng tối 90 phút để quá trình hấp phụ - giải hấp phụ đạt trạng thái cân bằng, quá trình khảo sát hoạt tính quang xúc tác của vật liệu CV-x được tiến hành. Kết quả độ chuyển hóa TC sau 120 phút được trình bày ở hình 6.



Hình 6. Sự phụ thuộc C/C_o của TC theo thời gian chiếu sáng của các vật liệu g-C_3N_4, V_2O_5 và CV-x. C_o: nồng độ TC ban đầu; C: nồng độ TC tại thời gian t.

Kết quả ở hình 6 cho thấy, khi so sánh 4 mẫu vật liệu g-C_3N_4/V_2O_5 với các mẫu đơn g-C_3N_4 và V_2O_5, thì CV-15 có hoạt tính cao nhất trong vùng khảo sát. Cụ thể, sau 120 phút xử lý, hiệu quả phân hủy TC trên g-C_3N_4 và V_2O_5 lần lượt đạt 56,48 và 51,79%. Trong khi đó, CV-15 đạt hiệu suất 79,67%, còn đối với CV-5, CV-10 và CV-20 độ chuyển hóa TC lần lượt đạt 65,60, 68,97 và 74,48%. Điều này cho thấy, tất cả các vật liệu lai ghép g-C_3N_4/V_2O_5 thể hiện hoạt tính cao hơn so với g-C_3N_4, V_2O_5 riêng lẻ, trong đó vật liệu có hoạt tính quang xúc tác cao nhất với TC là CV-15. Điều này là do sự hình thành g-C_3N_4 trên V_2O_5 đã có tác dụng hiệp trợ lẫn nhau, giúp khắc phục nhược điểm tái tổ hợp nhanh của g-C_3N_4 và V_2O_5, dẫn đến vật liệu lai ghép tổng hợp có hiệu quả xúc tác quang cao trong vùng ánh sáng nhìn thấy.

Cơ chế phân hủy chất hữu cơ trên g-C_3N_4/V_2O_5

Kết quả thực nghiệm cho thấy, khi có mặt các chất dập tắt BQ thì hiệu suất phân hủy TC trên CV-15 đạt 42,03%, khi sử dụng TBA thì hiệu suất đạt 13,48%. Trong khi đó, các chất dập tắt EDTA, DMSO có hiệu suất phân hủy TC của CV-15 lần lượt là 59,87 và 64,13%. Điều này chứng tỏ, gốc $HO^{\cdot}$ và $O_2^{\bullet-}$ đóng một vai trò quan trọng trong quá trình xúc tác quang của g-C_3N_4/V_2O_5.

Khi g-C_3N_4/V_2O_5 được kích thích bởi ánh sáng nhìn thấy, điện tử sẽ tách khỏi lỗ trống trên vùng hóa trị của g-C_3N_4, chuyển từ vùng hóa trị đến vùng dẫn và tham gia phản ứng với O_2 hòa tan trong nước sinh ra $O_2^{\bullet-}$ (tác nhân chính ôxy hóa phân tử hữu cơ thông qua các quá trình trung gian ngay

tại vùng dẫn của g-C_3N_4), một phần điện tử từ vùng dẫn của g-C_3N_4 sẽ di chuyển xuống vùng dẫn của V_2O_5 [13]. Trong khi đó, khi bị kích hoạt bởi ánh sáng nhìn thấy, điện tử từ vùng hóa trị của V_2O_5 bị tách ra, di chuyển đến vùng dẫn, một phần điện tử từ vùng dẫn của V_2O_5 có thể chuyển sang vùng hóa trị của g-C_3N_4 hạn chế sự tái tổ hợp cặp điện tử - lỗ trống theo kiểu hệ Z. Các $h_{VB}^+(V_2O_5)$ có thể ôxy hóa trực tiếp H_2O tạo thành $HO^\bullet$ nhờ sự phù hợp về thế ôxy ở vùng hóa trị của V_2O_5 (+2,69 V) là dương hơn của cặp $H_2O/HO^\bullet$ (+2,38 V), tác nhân $HO^\bullet$ sẽ ôxy hóa các chất hữu cơ ô nhiễm (hình 7). Quá trình quang xúc tác có thể biểu diễn như sau:

$$g-C_3N_4 + hv \rightarrow e_{CB}^-(g-C_3N_4) + h_{VB}^+(g-C_3N_4)$$

$$V_2O_5 + hv \rightarrow e_{CB}^-(V_2O_5) + h_{VB}^+(V_2O_5)\, e_{CB}^-(g-C_3N_4) + O_2 \rightarrow O_2^{\bullet-}$$

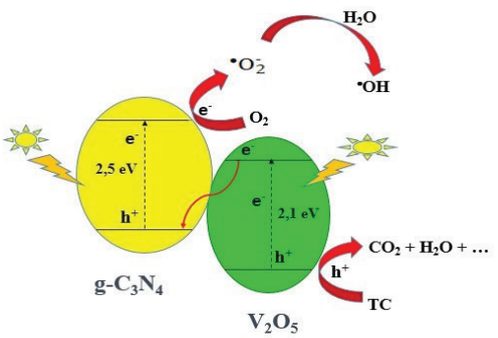
$$h_{VB}^+(V_2O_5) + H_2O \rightarrow HO^\bullet + H^+$$

$$O_2^{\bullet-} + H^+ \rightarrow HO_2^\bullet$$

$$e^- + HO_2^\bullet + H^+ \rightarrow H_2O_2$$

$$e^- + H_2O_2 + H^+ \rightarrow {}^\bullet OH + {}^-OH$$

$$TC + (h_{VB}^+(g-C_3N_4), {}^\bullet OH) \rightarrow CO_2 + H_2O$$



Hình 7. Cơ chế đề nghị cho quá trình phân hủy TC trên CV-15.

Kết luận

Vật liệu quang xúc tác g-C_3N_4/V_2O_5 tổng hợp có khả năng hấp thụ mạnh ánh sáng khả kiến so với từng hợp phần g-C_3N_4 và V_2O_5 riêng lẻ. Kết quả khảo sát sự phân hủy TC trên xúc tác g-C_3N_4, V_2O_5 và g-C_3N_4/V_2O_5 cho thấy, hiệu quả phân hủy TC trên vật liệu lai ghép g-C_3N_4/V_2O_5 đạt 79,67% sau 120 phút chiếu sáng, cao hơn so với g-C_3N_4 (56,48%) và V_2O_5 (51,79%) trong vùng ánh sáng khả kiến nhờ hạn chế sự tái tổ hợp nhanh cặp điện tử và lỗ trống quang sinh. Điều này cho thấy, tiềm năng ứng dụng hệ vật liệu lai ghép dạng Z trong xử lý nước chứa các chất hữu cơ ô nhiễm khó phân hủy nói chung và chất kháng sinh nói riêng.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Công nghiệp Thực phẩm TP Hồ Chí Minh. Các tác giả xin chân thành cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] R. Ameta, S.C. Ameta (2016), *Photocatalysis: Principles and Applications*, CRC Press.

[2] Wendong Zhang, et al. (2017), "Solvent-assisted synthesis of porous g-C_3N_4 with efficient visible-light photocatalytic performance for NO removal", *Chinese Journal of Catalysis*, **38(2)**, pp.372-378.

[3] K. Wu, et al. (2020), "Supramolecular self-assembly synthesis of noble-metal-free (C, Ce) co-doped g-C_3N_4 with porous structure for highly efficient photocatalytic degradation of organic pollutants", *Journal of Hazardous Materials,* **382**, DOI: 10.1016/j.jhazmat.2019.121027.

[4] Tran Doan An, et al. (2019), "Sulfur-doped g-C_3N_4 with enhanced visible-light photocatalytic activity", *Applied Mechanics and Materials*, **889**, pp.43-50.

[5] L. Kong, et al. (2018), "Ti^{3+} defect mediated g-C_3N_4/TiO_2 Z-scheme system for enhanced photocatalytic redox performance", *Applied Surface SCVence*, **448**, pp.288-296.

[6] T. Xiao, et al. (2018), "In situ construction of hierarchical WO_3/g-C_3N_4 composite hollow microspheres as a Z-Scheme photocatalyst for the degradation of antibiotics", *Applied Catalysis B: Environmental*, **220**, pp.417-428.

[7] H. Katsumata, et al. (2014), "Highly efficient photocatalytic activity of g-C_3N_4/Ag_3PO_4 hybrid photocatalysts through Z-scheme photocatalytic mechanism under visible light", *Ind. Eng. Chem. Res.*, **53(19)**, pp.8018-8025.

[8] Z. Zang, et al. (2017), "Synthesis and characterization of a core-shell $BiVO_4$@g-C_3N_4 photo-catalyst with enhanced photocatalytic activity under visible light irradiation", *RSC Advances*, **7(14)**, pp.8167-8177.

[9] H. Li, et al. (2018), "Synthesis of novel and stable g-C_3N_4-Bi_2WO_6 hybrid nanocomposites and their enhanced photocatalytic activity under visible light irradiation", *Royal Society Open Science*, **5(3)**, DOI: 10.1098/rsos.171419.

[10] S. Martha, et al. (2012), "Facile synthesis of visible light responsive V_2O_5/N,S-TiO_2 composite photocatalyst: enhanced hydrogen production and phenol degradation", *Journal of Materials Chemistry*, **22(21)**, DOI: 10.1039/C2JM30462G.

[11] P. ReddyPrasad, E.B. Naidoo (2015), "Ultrasonic synthesis of high fluorescent C-dots and modified with V_2O_5 nanocomposite for effective photocatalytic activity", *Journal of Molecular Structure*, **1098**, pp.146-152.

[12] P.K. Pandey, et al. (2005), "Spray deposition process of polycrystalline thin films of V_2O_5 and study on its photovoltaic electrochemical properties", *Materials Letters*, **59(24-25)**, pp.3149-3155.

[13] H. Ramezanalizadeh, F. Manteghi (2017), "Design and development of a novel $BiFeO_3$/V_2O_5 heterojunction with enhanced photocatalytic performance for the degradation of organic dyes", *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, **338**, pp.60-71.

[14] L. Ma, et al. (2016), "Enhanced photocatalytic activity over a novel V_2O_5/$Cu_{1-x}Zn_xWO_4$/$ZnWO_4$ hybrid material with sandwiched heterojunction", *Journal of Materials Research*, **31**, pp.1616-1621.

[15] Y. Hong, et al. (2016), "*In-situ* synthesis of direct solid-state Z-scheme V_2O_5/g-C_3N_4 heterojunctions with enhanced visible light efficiency in photocatalytic degradation of pollutants", *Applied Catalysis B: Environmental*, **180**, pp.663-673.

[16] R. Saravanan, et al. (2014), "Preparation and characterization of V_2O_5/ZnO nanocomposite system for photocatalytic application", *Journal of Molecular Liquids*, **198**, pp.409-412.