

ẢNH HƯỞNG SỰ PHA TẠP Fe LÊN KHẢ NĂNG QUANG XÚC TÁC CỦA VẬT LIỆU Bi_2WO_6 CHẾ TẠO BẰNG PHƯƠNG PHÁP THỦY NHIỆT

Nguyễn Đăng Phú, Phạm Văn Hải, Phạm Đỗ Chung và Lục Huy Hoàng

Khoa Vật lí, Trường Đại học Sư Phạm Hà Nội

Tóm tắt. Vật liệu Bi_2WO_6 pha tạp Fe với các tỉ lệ 0,5, 1,0, 1,5, 2,0, 2,5% đã được chế tạo thành công bằng phương pháp thủy nhiệt. Hình thái học, cấu trúc tinh thể, cấu trúc điện tử và đặc trưng quang học của các mẫu đã được khảo sát qua các phép đo nhiễu xạ tia X (XRD), hiển vi điện tử quét (SEM), phổ hấp thụ (UV-VIS -DRS), phổ quang huỳnh quang (PL) và phổ huỳnh quang tia X (XPS). Thông tin về sự thay thế của ion Fe^{3+} vào vị trí Bi^{3+} trong tinh thể Bi_2WO_6 đã được xác định. Sự thay thế của ion Fe^{3+} vào vị trí Bi^{3+} không làm thay đổi cấu trúc orthorhombic của tinh thể Bi_2WO_6 , tuy nhiên làm thay đổi độ rộng của vùng cấm quang và khả năng quang xúc tác trong vùng ánh sáng nhìn thấy của vật liệu. Mẫu Bi_2WO_6 pha tạp 1,5% Fe có khả năng quang xúc tác phân hủy 97% RhB trong 180' dưới tác dụng của ánh sáng trong vùng nhìn thấy. Sự tăng cường khả năng quang xúc tác của vật liệu Bi_2WO_6 pha tạp Fe được giải thích do sự suy giảm tốc độ tái hợp điện tử - lỗ trống.

Từ khóa: Bismuth tungstate oxide, quang xúc tác, thủy nhiệt.

1. Mở đầu

Vật liệu Bi_2WO_6 được các nhà khoa học quan tâm nghiên cứu trong thời gian gần đây do có các đặc trưng điện, sắt điện lí thú, có độ bền hóa học cao và đặc biệt là có khả năng quang xúc tác phân hủy một số chất độc hại trong môi trường dưới tác dụng của ánh sáng nhìn thấy [1-3]. Tuy nhiên, một số kết quả nghiên cứu cho thấy, hiệu suất quang xúc tác của vật liệu Bi_2WO_6 chưa cao và một trong những nguyên nhân quan trọng được cho là do tốc độ tái hợp lỗ trống điện tử cao trong quá trình quang xúc tác [4, 5]. Để khắc phục được hạn chế này, các nhà khoa học sử dụng nhiều phương pháp khác nhau để biến tính vật liệu Bi_2WO_6 . Một số kết quả nghiên cứu cho thấy, khả năng quang xúc tác của Bi_2WO_6 đã được cải thiện khi pha tạp một số nguyên tố như Ag [2], Iot [6], sulfur [7] Nitơ [8], cacbon [9], molibden [10]. Bên cạnh đó, một số công bố gần đây đã chứng tỏ việc pha tạp Fe vào TiO_2 [11-13], BiOCl [14], SnO_2 [15], CeO_2 [16] đã làm tăng cường đáng kể khả năng quang xúc tác của các vật liệu này.

Gần đây, chúng tôi đã sử dụng phương pháp hóa đơn giản để chế tạo thành công các vật liệu quang xúc tác như Bi_2WO_6 , BiVO_4 , MnWO_4 và $\text{Bi}_2\text{Sn}_2\text{O}_7$ [3, 17, 18, 19]. Trong bài báo này, chúng tôi tiếp tục nghiên cứu chế tạo vật liệu Bi_2WO_6 pha tạp Fe bằng phương pháp thủy nhiệt. Mẫu Bi_2WO_6 pha tạp Fe có khả năng quang xúc tác phân hủy RhB dưới tác dụng của ánh sáng trong vùng nhìn thấy tốt hơn mẫu không pha tạp. Cơ chế tăng cường khả năng quang xúc tác của vật liệu Bi_2WO_6 pha tạp Fe cũng được thảo luận chi tiết ở đây.

Ngày nhận bài: 12/2/2019. Ngày sửa bài: 15/3/2019. Ngày nhận đăng: 22/3/2019.

Tác giả liên hệ: Lục Huy Hoàng. Địa chỉ e-mail: hoanglhsp@hnue.edu.vn

2. Nội dung nghiên cứu

2.1. Thực nghiệm

Vật liệu Bi_2WO_6 pha tạp Fe được chế tạo bằng phương pháp thủy nhiệt. Đầu tiên, 2,5 mmol $\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ được hòa vào trong 100 ml nước cất 2 lần và khuấy đều ở nhiệt độ phòng. Sau đó, dung dịch $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$ với nồng độ 5 mmol được trộn vào dung dịch trên. Một phần $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$ được thay thế bằng $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ theo tính toán sao cho tỉ phần mol giữa Fe^{3+} và Bi^{3+} đạt 0%, 0,5%, 1,0%, 1,5%, 2,0%, 2,5%. Hỗn hợp dung dịch này tiếp tục được khuấy từ trong 30 phút ở nhiệt độ phòng trước khi được cho vào bình thủy nhiệt Teflon đặt trong lõi thép. Bình thủy nhiệt sau đó được gia nhiệt lên 180 °C và giữ cố định tại nhiệt độ này trong 12 giờ. Sau khi để nguội xuống nhiệt độ phòng, mẫu bột được tách ra khỏi hỗn hợp bằng máy li tâm. Mẫu thu được sau đó được rửa với nước cất 4 lần rồi sấy khô tại nhiệt độ 70 °C trong 24h.

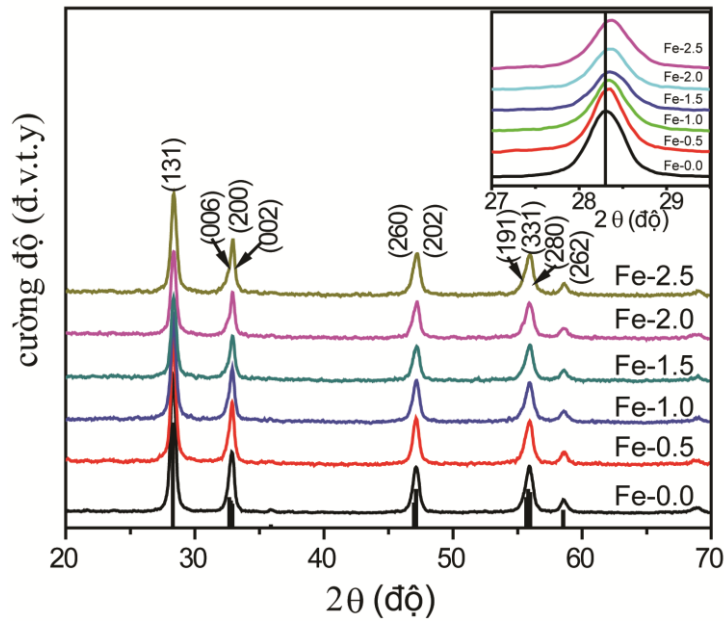
Cấu trúc tinh thể của các mẫu được phân tích trên hệ đo nhiễu xạ kế tia X (Bruker D5005) tại nhiệt độ phòng, hình thái học của vật liệu được phân tích trên kính hiển vi điện tử quét (SEM, S4800-Hitachi), tính chất quang của vật liệu khảo sát trên hệ đo hấp thụ Jasco V670 với dải bước sóng từ 200 nm đến 800 nm, phép đo phổ huỳnh quang được thực hiện trên Hệ đo FluoroMax 4 - Horiba với nguồn kích laser He-Cd bước sóng 325 nm. Phép đo quang điện tử tia X được thực hiện trên hệ ULVAC-PHI sử dụng nguồn tia X Al-K α để xác nhận sự có mặt cũng như hóa trị của nguyên tố trong tinh thể.

Khả năng quang xúc tác của hệ vật liệu dưới tác dụng của ánh sáng trong vùng nhìn thấy được đánh giá thông qua khả năng phân hủy Rhodamine B (RhB). Trong thí nghiệm này, nguồn sáng là đèn xenon với công suất 300 W cùng kính lọc để chặn các bước sóng dưới 400 nm. Trong mỗi thí nghiệm về quang xúc tác, một lượng 0,1 gam Bi_2WO_6 pha tạp Fe được hòa vào dung dịch RhB với nồng độ 10 ppm. Dung dịch này được khuấy đều trong 1h trong điều kiện bóng tối để đạt độ hấp phụ bão hòa RhB trên bề mặt của vật liệu. Dung dịch sau đó được chiếu sáng, sau mỗi khoảng thời gian 30 phút, 5 ml dung dịch được lấy ra và quay li tâm loại để bỏ chất quang xúc tác. Nồng độ dung dịch RhB còn lại trong dung dịch được tính tương đối từ cường độ đỉnh phổ hấp thụ đặc trưng cho RhB tại 554 nm.

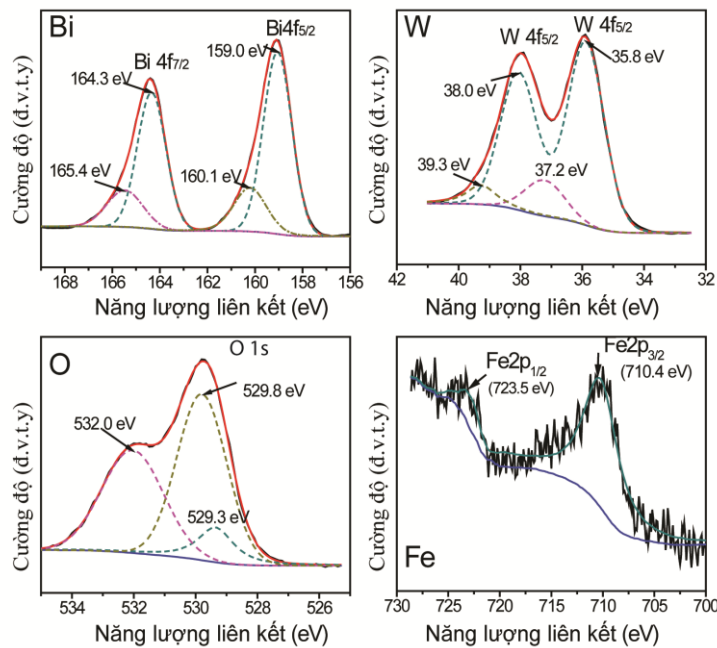
2.2. Kết quả và thảo luận

Hình 1 trình bày giản đồ nhiễu xạ tia X của hệ vật liệu Bi_2WO_6 pha tạp Fe. Giản đồ nhiễu xạ tia X của mẫu Bi_2WO_6 xuất hiện 5 đỉnh nhiễu xạ tại các vị trí góc 2θ là 28,3°, 32,7°, 47,1°, 55,9°, 58,5° và 68,8°. Đối chiếu với dữ liệu từ thẻ chuẩn JCPDS 39-0256, các đỉnh nhiễu xạ trên theo thứ tự tương ứng với các họ mặt phẳng mạng: (131), (002), (202), (133), (262), (004) của Bi_2WO_6 với cấu trúc orthorhombic. Giản đồ nhiễu xạ của các mẫu Bi_2WO_6 pha tạp Fe với các nồng độ khác nhau vẫn xuất hiện 5 đỉnh nhiễu xạ tương tự như mẫu không pha tạp Fe. Tuy nhiên, có thể quan sát thấy trên Hình chèn trong Hình 1, khi được pha tạp Fe, đỉnh nhiễu xạ bị lệch về phía góc 2θ lớn, độ lệch tăng khi nồng độ pha tạp Fe tăng. Sự lệch đỉnh nhiễu xạ về phía góc 2θ lớn đồng nghĩa với sự tăng lên của hằng số mạng tinh thể. Đây là một bằng chứng về sự thay thế của Fe^{3+} cho Bi^{3+} trong tinh thể Bi_2WO_6 . Mặc dù bán kính ion của Fe^{3+} nhỏ hơn Bi^{3+} tuy nhiên, khi Fe^{3+} thay thế cho vị trí Bi^{3+} độ dài liên kết Fe-O (1,964 Å) lớn hơn so với độ dài liên kết W-O (1,933 Å) làm cho các Fe^{3+} không nằm ở vị trí trung tâm mà bị lệch về phía oxi trong lớp Bi_2O_2 , kết quả là gây ra hiện tượng méo mạng làm cho hằng số mạng tăng lên [20].

Để tìm hiểu chi tiết hơn trạng thái điện tử của các ion trong tinh thể $\text{Bi}_2\text{WO}_6:\text{Fe}$, phép phổ kế quang điện tử tia X (XPS) cho mẫu $\text{Bi}_2\text{WO}_6:1,5\% \text{ Fe}$ được thực hiện. Kết quả được trình bày trên Hình 2.



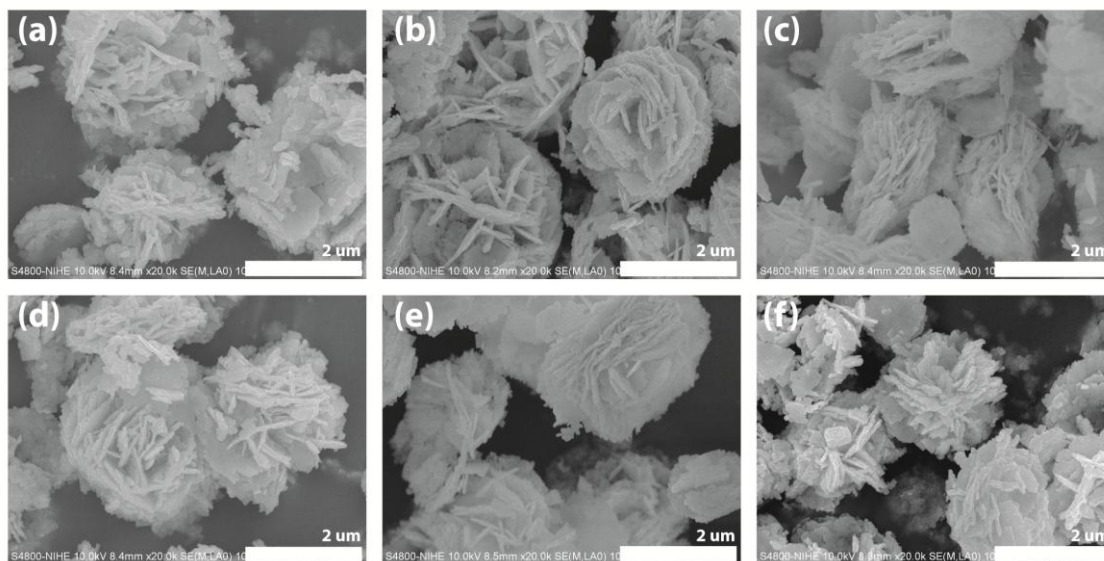
Hình 1. Giải đồ nhiễu xạ tia X của các mẫu Bi_2WO_6 pha tạp 0%, 0,5%, 1,0%, 1,5%, 2,0%, 2,5%



Hình 2. Phổ quang điện tử tia X của mẫu Bi_2WO_6 pha tạp 1,5% Fe

Kết quả thu được trên Hình 2 cho thấy, phổ XPS xuất hiện các đỉnh có năng lượng liên kết 164,3 và 159,0 eV tương ứng với orbital $\text{Bi}4f_{7/2}$ và $\text{Bi}4f_{5/2}$ của ion Bi^{3+} với mức năng lượng liên kết 164,3 và 159,0 eV. Các đỉnh tại 35,8 và 38,0 eV theo thứ tự là các năng lượng liên kết của $\text{W}4f_{5/2}$ và $\text{W}4f_{7/2}$ trong trạng thái $(\text{WO}_4)^{2-}$ của tinh thể Bi_2WO_6 . Đỉnh tại vị trí 530 eV là đặc trưng cho năng lượng liên kết $\text{O}2p$ của ô xi. Đặc biệt, trên phổ XPS có xuất hiện các đỉnh có năng

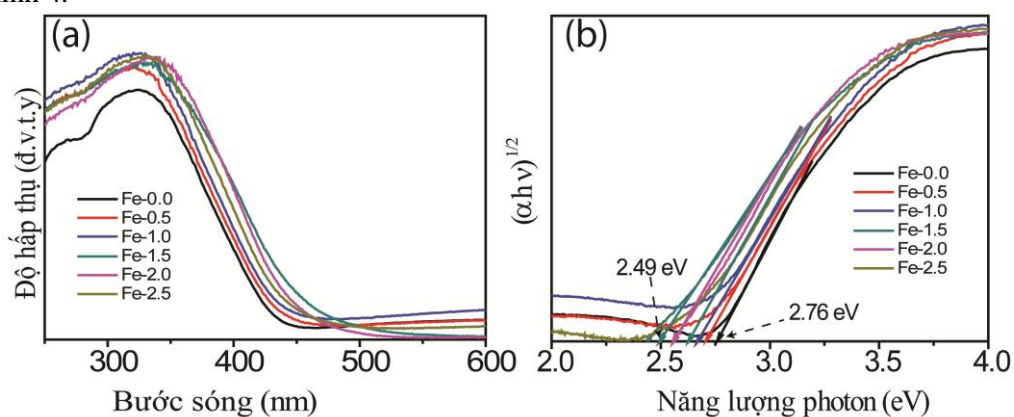
lượng liên kết tại 723,5 và 710,4 eV tương ứng với orbital Fe2p_{1/2} và Fe2p_{2/3} của Fe³⁺. Kết quả này cung cấp thêm bằng chứng cho thấy sự tồn tại của Fe³⁺ trong tinh thể Bi₂WO₆.



Hình 3. Ảnh SEM của các mẫu Bi₂WO₆ pha tạp (a) 0%, (b) 0,5%, (c) 1,0%, 1,5%, 2,0%, 2,5% Fe

Ảnh SEM của vật liệu Bi₂WO₆ pha tạp Fe được trình bày trên Hình 3 cho thấy, các mẫu có hình thái học giống nhau gồm các phiên nhỏ với kích thước vài chục nm tự sắp xếp trong quá trình thủy nhiệt để tạo thành các cấu trúc có dạng bông hoa có kích thước cỡ 1-2 micromet. Kết quả thu được cũng cho thấy, việc pha tạp Fe không ảnh hưởng đến hình thái học của vật liệu Bi₂WO₆.

Phổ hấp thụ và phổ chuyển đổi Kubela - Munk của vật liệu Bi₂WO₆ pha tạp Fe được trình bày trên Hình 4.

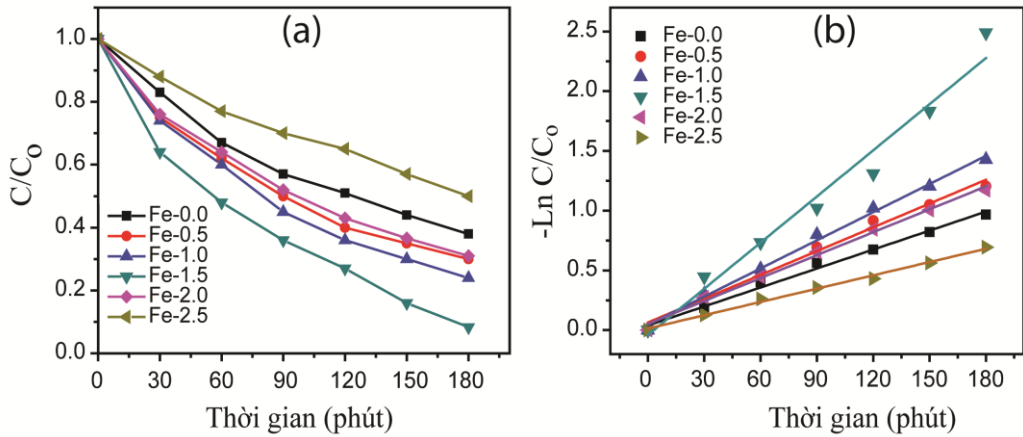


Hình 4. (a) Phổ hấp thụ và (b) phổ chuyển đổi Kubela – Munk mẫu Bi₂WO₆ pha tạp 0%, 0,5%, 1,0%, 1,5%, 2,0%, 2,5% Fe

Kết quả chỉ ra rằng, phổ hấp thụ của tất cả các mẫu đều có bờ hấp thụ nằm trong vùng ánh sáng nhìn thấy. Mẫu Bi₂WO₆ tinh khiết có bờ hấp thụ trong vùng 400 đến 450 nm tương ứng với độ rộng vùng cấm quang 2,76 eV, có nguồn gốc sự chuyển dời từ vùng hóa trị được đóng góp chủ yếu bởi các orbital Bi6s và O2p lên vùng dẫn được đóng góp bởi W5d. Khi được pha tạp Fe, phổ

hấp thụ của các mẫu Bi_2WO_6 bị dịch về phía bước sóng lớn thể hiện khả năng hấp thụ ánh sáng trong vùng nhìn thấy so với vật liệu Bi_2WO_6 không pha tạp.

Khả năng quang xúc tác của hệ mẫu Bi_2WO_6 pha tạp Fe được đánh giá thông qua khả năng phân hủy RhB dưới tác dụng của ánh sáng nhìn thấy. Nồng độ RhB còn lại trong dung dịch được đánh giá qua cường độ đỉnh hấp thụ đặc trưng của RhB tại 554 nm. Kết quả về sự suy giảm nồng độ RhB trong dung dịch theo thời gian do hiệu ứng quang xúc tác của các mẫu Bi_2WO_6 pha tạp Fe với các nồng độ khác nhau được trình bày trên Hình 5(a).



Hình 5. a) Sự suy giảm nồng độ RhB theo thời gian dưới tác dụng quang xúc tác của các mẫu Bi_2WO_6 pha tạp Fe với các nồng độ khác nhau (b) Đường động học quang xúc tác theo mô hình Langmuir - Hinshelwood của các mẫu Bi_2WO_6 pha tạp Fe

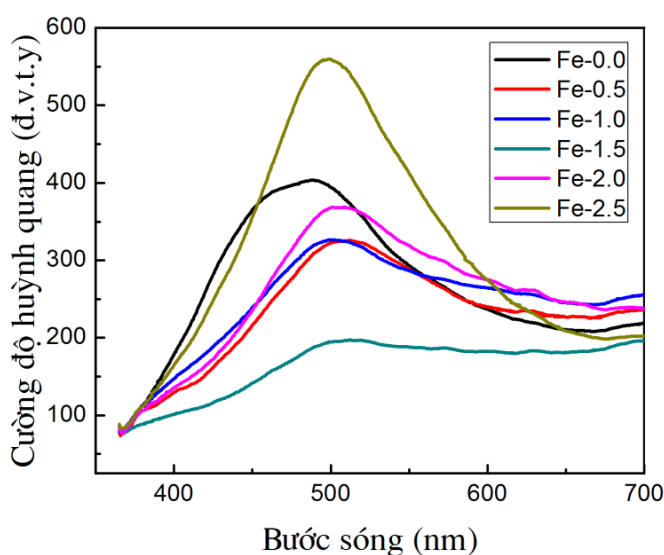
Kết quả thu được trên Hình 5(a) cho thấy, mẫu Bi_2WO_6 có khả năng quang xúc tác phân hủy được 65% RhB trong dung dịch sau 180'. Các mẫu Bi_2WO_6 pha tạp Fe đến 2% đều có khả năng quang xúc tác tốt hơn mẫu không pha tạp, trong đó mẫu Bi_2WO_6 pha tạp 1,5% Fe có khả năng quang xúc tác mạnh nhất khi phân hủy được 97% RhB sau 180'. Tuy nhiên mẫu Bi_2WO_6 pha tạp 2,5% Fe có khả năng quang xúc tác kém hơn so với mẫu tinh khiết. Để đánh giá toàn diện hơn về khả năng quang xúc tác của hệ mẫu này chúng tôi sử dụng mô hình động học Langmuir – Hinshelwood theo phương trình $\ln(C_0/C) = kt$, trong đó C_0 là nồng độ RhB ban đầu, C là nồng độ RhB sau 30 phút, k là hằng số tốc độ phân hủy RhB được xác định bằng độ dốc của đồ thị, t là thời gian. Kết quả được trình bày trên Hình 5(b) cho thấy, tốc độ phân hủy k của các mẫu Bi_2WO_6 pha tạp Fe với nồng độ 0, 0,5%, 1,0%, 1,5%, 2,0%, 2,5% theo thứ tự là 0,0052, 0,0066, 0,0078, 0,0128, 0,0064, 0,0037 mg/phút. Có thể thấy, tốc độ phân hủy quang xúc tác của của mẫu pha tạp 1,5% Fe là cao nhất, mạnh gấp 2,5 lần tốc độ phân hủy của mẫu Bi_2WO_6 tinh khiết.

Kết quả nghiên cứu ở trên cho thấy, các mẫu Bi_2WO_6 pha tạp Fe có hình thái học ít thay đổi và đều có khả năng hấp thụ tốt ánh sáng trong vùng nhìn thấy tốt hơn Bi_2WO_6 tinh khiết. Tuy nhiên, mẫu Bi_2WO_6 pha tạp 2,5% Fe lại có khả năng quang xúc tác thấp hơn cả mẫu không pha tạp. Như vậy, cơ chế tăng cường quang xúc tác của vật liệu khi pha tạp Fe có thể được đóng góp từ nguyên nhân khác, có thể là tốc độ tái hợp điện tử lỗ trống của vật liệu.

Ta biết rằng, nồng độ điện tử và lỗ trống là yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến hiệu suất của phản ứng quang xúc tác. Cụ thể, nếu nồng độ điện tử hoặc lỗ trống trong mẫu bán dẫn càng lớn thì hiệu suất của phản ứng xúc tác càng cao. Tuy nhiên, điện tử và lỗ trống trong bán dẫn luôn có xu hướng kết hợp với nhau đồng thời giải phóng ra năng lượng dưới dạng photon ánh sáng - tức tín hiệu huỳnh quang. Do đó để tìm hiểu cơ chế tăng cường khả năng quang xúc tác của hệ vật liệu tổ hợp chúng tôi thực hiện phép đo phổ huỳnh quang của các mẫu. Về nguyên tắc, cường độ của tín

hiệu huỳnh quang lớn chỉ ra tốc độ tái hợp của cặp điện tử-lỗ trống xảy ra nhanh. Trong Hình 6, chúng tôi trình bày kết quả phép đo phổ huỳnh quang của các mẫu Bi_2WO_6 tinh khiết và pha tạp.

Kết quả cho thấy, mẫu Bi_2WO_6 tinh khiết có vùng phát xạ huỳnh quang trong vùng bước sóng từ 380 nm đến 600 nm với cường độ đỉnh lớn nhất tại 500 - 520 nm phù hợp chuyển dời phát xạ vùng dẫn đến vùng hóa trị của bán dẫn Bi_2WO_6 [21]. Các mẫu Bi_2WO_6 pha tạp Fe cũng có dải phát xạ nằm trong vùng này nhưng có cường độ thay đổi khi nồng độ pha tạp thay đổi. Mẫu pha tạp 1,5% Fe có cường độ đỉnh huỳnh quang thấp nhất, mẫu pha tạp 2,5% Fe có cường độ huỳnh quang mạnh nhất. So sánh với tốc độ phân hủy quang xúc tác của các mẫu trong Hình 5, chúng tôi thấy có sự phù hợp giữa cường độ huỳnh quang với khả năng quang xúc tác. Cụ thể mẫu pha tạp Fe 1.5% có cường độ huỳnh quang thấp đồng thời cũng là mẫu có hiệu suất quang xúc tác tốt nhất. Kết quả này chỉ ra rằng yếu tố quyết định đến phản ứng quang xúc tác của bán dẫn Bi_2WO_6 pha Fe là do tốc độ tái hợp điện tử-lỗ trống.



Hình 6. Phổ huỳnh quang ở bước sóng kích thích 325 nm của các mẫu Bi_2WO_6 pha tạp Fe với các nồng độ khác nhau

3. Kết luận

Vật liệu Bi_2WO_6 pha tạp Fe với các nồng độ 0, 0,5, 1,0, 1,5, 2,0, 2,5% đã được chế tạo thành công bằng phương pháp thủy nhiệt. Thu được các bằng chứng cho thấy khi được pha tạp, ion Fe^{3+} đã thay thế cho Bi^{3+} trong tinh thể Bi_2WO_6 . Các mẫu chế tạo được đều có khả năng phân hủy RhB dưới tác dụng của ánh sáng trong vùng nhìn thấy. Mẫu Bi_2WO_6 pha tạp 1,5% Fe có khả năng quang xúc tác mạnh nhất phân hủy được 97% RhB trong dung dịch sau 180'. Nguyên nhân tăng cường khả năng quang xúc tác của các mẫu Bi_2WO_6 pha tạp Fe được đánh giá có sự đóng góp quan trọng của tốc độ tái hợp lỗ trống- điện tử thấp của vật liệu.

Lời cảm ơn. Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Phát triển Khoa học và Công nghệ Quốc gia (NAFOSTED) trong đề tài mà số “103.02-2016.21”.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Zuo, X., Cao, Y., Gong, A., Ding, S., Zhang, T., & Wang, Y., 2016. *Removal of Microcystins by Highly Efficient Photo-catalyst Bi_2WO_6 -Activated Carbon Under Simulated Light*. *Water, Air, & Soil Pollution*, 227(4), pp. 1-14.
- [2] Wu, W. Y., Wang, L. C., & Huang, S. Y., 2015. *The photocatalytic degradation of CH_4 by Ag- Bi_2WO_6 under visible light*. *Materials Research Innovations*, 19(sup8), S8-212.
- [3] Phu, N. D., Hoang, L. H., Chen, X. B., Kong, M. H., Wen, H. C., & Chou, W. C., 2015. *Study of photocatalytic activities of Bi_2WO_6 nanoparticles synthesized by fast microwave-assisted method*. *Journal of Alloys and Compounds*, 647, 123-128.
- [4] Zhang, Z., Wang, W., Wang, L., Sun, S., 2012. *Enhancement of visible-light photocatalysis by coupling with narrow-band-gap semiconductor: a case study on $\text{Bi}_2\text{S}_3/\text{Bi}_2\text{WO}_6$* . *Applied Materials and Interfaces*, 4, pp. 593-597.
- [5] Hoffmann, M. R.; Martin, S. T.; Choi, W.; Bahnemann, D. W., 1995. *Environmental Applications of Semiconductor Photocatalysis*. *Chemical Reviews*, 95, pp. 69-96.
- [6] Cao, B. W., & Xu, Y. H., 2013. *Enhanced photocatalytic performance of iodine doped Bi_2WO_6 nanostructures under visible-light irradiation*. In *Applied Mechanics and Materials* (Vol. 423, pp. 163-166). Trans Tech Publications.
- [7] T. Wang, G. Xiao, C. Li, S. Zhong, F. Zhang, 2015. *One-step synthesis of a sulfur doped $\text{Bi}_2\text{WO}_6/\text{Bi}_2\text{O}_3$ composite with enhanced visible-light photocatalytic activity*. *Materials Letters*, 138, pp. 81-84.
- [8] Tang, B., Jiang, G., Wei, Z., Li, X., Wang, X., Jiang, Wan, J., 2014. *Preparation of N-Doped Bi_2WO_6 microspheres for efficient visible light-induced photocatalysis*. *Acta Metallurgica Sinica (English Letters)*, 27(1), 124-130.
- [9] Liu, D., Huang, J., Cao, L., Tao, X., & Zhang, B., 2016. *Comparative study on the photocatalytic activity of biomass carbon doped Bi_2WO_6 crystallite with self-assembled hierarchical structure*. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 27(3), pp. 2473-2480.
- [10] Song, X. C., Zheng, Y. F., Ma, R., Zhang, Y. Y., & Yin, H. Y., 2011. *Photocatalytic activities of Mo-doped Bi_2WO_6 three-dimensional hierarchical microspheres*. *Journal of Hazardous Materials*, 192(1), pp. 186-19.
- [11] Wu, Q., Yang, C. C., & van de Krol, R., 2014. *A dopant-mediated recombination mechanism in Fe-doped TiO_2 nanoparticles for the photocatalytic decomposition of nitric oxide*. *Catalysis Today*, 225, 96-101.
- [12] Lin, L., Wang, H., Luo, H., & Xu, P., 2015. *Enhanced photocatalysis using side-glowing optical fibers coated with Fe-doped TiO_2 nanocomposite thin films*. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 307, 88-98.
- [13] Sood, S., Umar, A., Mehta, S. K., & Kansal, S. K., 2015. *Highly effective Fe-doped TiO_2 nanoparticles photocatalysts for visible-light driven photocatalytic degradation of toxic organic compounds*. *Journal of Colloid and Interface Science*, 450, pp. 213-223.
- [14] Gao, M., Zhang, D., Pu, X., Li, H., Li, W., Shao, X., Zhang, B. & Dou, J., 2016. *Combustion synthesis of Fe-doped BiOCl with high visible-light photocatalytic activities*. *Separation and Purification Technology*, 162, pp. 114-119.

- [15] Zhang, J., Ye, J., Chen, H., Qu, Y., Deng, Q., & Lin, Z., 2017. *One-pot synthesis of echinus-like Fe-doped SnO₂ with enhanced photocatalytic activity under simulated sunlight*. Journal of Alloys and Compounds, 695, pp. 3318-3323.
- [16] Chaiwichian, S., Wetchakun, K., Phanichphant, S., Kangwansupamonkon, W., & Wetchakun, N., 2016. *The effect of iron doping on the photocatalytic activity of a Bi₂WO₆-BiVO₄ composite*. RSC Advances, 6(59), 54060-54068.
- [17] P.V. Hanh, L.H. Hoang, P.V. Hai, N.V. Minh, X.B. Chen, I.S. Yang, 2013. *Crystal quality and optical property of MnWO₄ nanoparticles synthesized by microwave-assisted method*. Journal of Phys. Chem.Solids 74, pp. 426-430.
- [18] Phu, N. D., Hoang, L. H., Vu, P. K., Chen, X. B., Wen, H. C., & Chou, W. C., 2016. *Control of crystal phase of BiVO₄ nanoparticles synthesized by microwave assisted method*. Journal of Materials Science: Materials in Electronics, 27(6), 6452-6456.
- [19] Vu, P.K., Thuong V.H., Duc D.T., Phu N.D., Hoang L.H and Hung N.V., 2017. *Tổng hợp vật liệu Bi₂SnO₇/CoFe₂O₄ và hoạt tính quang xúc tác*. Journal of Science of HNUE, 62(3), tr. 3-9.
- [20] Arakawa, M., Hirose, T., & Takeuchi, H., 1991. *EPR study of local position for Fe³⁺ in layer oxide Bi₂WO₆*. Journal of the Physical Society of Japan, 60(12), pp. 4319-4325.
- [21] Zhang Y., Zhang N., Tang Z.R., Xu Y.J., 2013. *Identification of Bi₂WO₆ as a highly selective visible-light photocatalyst toward oxidation of glycerol to dihydroxyacetone in water*. Chemical Science 4, pp. 1820-1824.

ABSTRACT

Photocatalytic properties of Fe-doped Bi₂WO₆ nanoparticles were prepared using hydrothermal method

Nguyen Dang Phu, Pham Van Hai, Pham Do Chung and Luc Huy Hoang
Faculty of Physics, Hanoi National University of Education

Different contents of Fe loaded in Bi₂WO₆ nanopowders were synthesized using hydrothermal method. The physical properties of the products were characterized in detail using XRD, SEM, XPS, UV-VIS DRS and PL spectroscopy techniques. The successful incorporation of Fe³⁺ ions into Bi₂WO₆ was observed, producing a lattice distortion of Bi₂WO₆. The results showed that Fe doping had great influences on the photocatalytic efficiency of Bi₂WO₆ nanoparticles. The Bi₂WO₆:1.5% Fe sample exhibited the best photocatalytic activity in photodegradation of RhB under visible light irradiation. The enhanced photocatalytic activity of the Fe loaded in Bi₂WO₆ nanopowders was mainly caused by the efficient separation of electron and hole pairs.

Keywords: Bismuth tungstate oxide, photocatalyst, hydrothermal methods.