

CATEGORY		Page
1-	Photocatalytic degradation of Rhodamine-B under visible light region by ZnO nanoparticles loaded on activated carbon made from longan seed biomass - Nguyen Van Hung, Bui Thi Minh Nguyet, Bui Thi Thuy Linh, Nguyen Huu Nghi, Nguyen Thanh Tuoi, Nguyen Anh Tien, Le Lam Son	1
2-	Effect of synthesis conditions on methylene blue adsorption capacity of electrochemically prepared graphene - Pham Van Hao, Ha Xuan Linh, Phung Thi Oanh, Phan Ngoc Hong, Nguyen Nhat Huy, Dang Van Thanh, Nguyen Van Dang	9
3-	Study on the preparation of TiO ₂ /SiO ₂ and the treatment capacity of 2-chloroethyl ethyl sulfide on the surface of sensitive equipment and components - Hoang Kim Hue, Le Van Long, Hoang Thanh Thai, Le Minh Thao	15
4-	Synthesis of TiO ₂ /g-C ₃ N ₄ material for visible light driven photocatalytic degradation of methylene blue - Dang Thi Ngoc Hoa, Nguyen Thi Thanh Tu	21
5-	Multiwalled carbon nanotubes synthesis from methane using a stainless steel foils as a catalyst - Huynh Minh Thuan, Nguyen Sura, Nguyen Thi Kim Ngan, Nguyen Manh Huan, Do Pham Noa Uy, Nguyen Anh Thu Hang, Nguyen Cong Danh, Nguyen Huu Luong, Nguyen Cat Tien	27
6-	Sorption of Pb(II) and Cd(II) ions from aqueous solutions by activated biomass of common reed - Nguyen Van Hung, Bui Thi Minh Nguyet, Nguyen Kim Nuong, Nguyen Huu Nghi, Nguyen Thanh Tuoi, Nguyen Anh Tien, Le Lam Son	31
7-	Synthesis of Fe ₃ O ₄ /MIL-101 material and evaluation of photocatalytic activity - Nguyen Van Kim, Huynh Thi Minh Thanh	40
8-	Preparation and optimization of the composition of novel nZVI/(Fe-Mn) binary oxide/bentonite adsorbent for removal of reactive yellow 145 dye (RY-145) from aqueous solution - Pham Thi Thanh Huyen, Nguyen Binh Duong, Quan Thi Thu Trang, Phan Thi Ngoc Bich, Pham Van Lam	45
9-	Photocatalytic activities of NiFe ₂ O ₄ /nitrogen-doping graphene oxide synthesized by hydrothermal method - Nguyen Ngoc Minh, Le Thi Cam Nhung, Truong Cong Duc, Nguyen Thi Lieu, Nguyen Van Thang, Dinh Quang Khieu, Nguyen Thi Vuong Hoan	52
10-	Synthesis of ZnMn ₂ O ₄ nanostructure via hydrothermal method - Nguyen Le My Linh, Do Mai Nguyen	58
11-	Synthesis and application of Fe-BTC nanocomposites as highly efficient photocatalysts in the dye degradation - Nguyen Ba Manh, Vu Anh Tuan, Le Ha Giang	63
12-	A theoretical study on the influence of non-metal (B, C, N, O, F) doping on the electronic and optical properties of graphitic carbon nitride (g-C ₃ N ₄) - Nguyen Thi Thu Ha, Nguyen Ngoc Ha	69
13-	Synthesis, characterization and photocatalytic application of CNTs/ZnO composite - Nguyen Duc Vu Quyen, Tran Ngoc Tuyen, Dang Xuan Tin, Ho Van Minh Hai, Bui Thi Hoang Diem, Dang Do, Ho Thi Thuy Dung	75
14-	Adsorption PO ₄ ³⁻ ion in aqueous solution using ZnO nanomaterials fabricated by electrochemical method - Pham Huong Quynh, Luong Thi Anh, Luu Thi Liu, Ha Nam Phuong, Nguyen Phuong Chi, Nguyen Thanh Trung, Phung Thi Oanh	82
15-	Fischer-Tropsch synthesis over Co/γ-Al ₂ O ₃ catalyst loaded on ceramic monolith-structured substrate - Do Pham Noa Uy, Nguyen Manh Huan, Hoang Van Loc, Luc Minh Chien, Nguyen Thi Chau Giang, Truong Van Nhan, Phan Minh Quoc Bonh, Nguyen Huu Luong, Huynh Minh Thuan	88
16-	Synthesis and photocatalytic activity of ZnO/CuO composite for the degradation of methyl blue under visible light irradiation - Nguyen Van Kim, Nguyen Thi Viet Nga, Vu Thi Thanh Tuyen, Vu Vien	94
17-	Synthesis nanocomposite TiO ₂ -ZrO ₂ for photocatalytic degradation of phenol and methylene blue (MB) - Nguyen Thi Hai Yen, Le Thi Hong Hai, Pham Thi Minh Thao	101
18-	Study on the synthesis of porphyrin-modified copper ferrite as photocatalyst for treatment of MB organic dye in aqueous media - Tran Van Chinh, Nguyen Tuan Anh, Nguyen Thi Hoai Phuong, Mai Huu Thuan, Tran Van Khanh, Dinh The Dung, Nguyen Thi Hong Phuong, Tran Dai Lam, Lo Duc Duong	107
19-	Study on Fabrication and investigation of the effects of copper salt precursor with different anions SO ₄ ²⁻ , Cl ⁻ , CH ₃ COO ⁻ and NO ₃ ⁻ on the structure and photocatalytic properties for decomposition of methyl orange dye of octahedral Cu ₂ O nanoparticles - Nguyen Thi Tuyet Mai, Dang Thi Minh Hue, Nguyen Thi Lan, Tran Thi Thu Huyen, Nguyen Kim Nga, Huynh Dang Chinh, Ta Ngoc Dung, Nguyen Cong Tu, Trinh Xuan Anh, Truong Thi May, Luu Thi Lan Anh	112
20-	Studying effect of temperature on to formation and red congo absorption ability of copper oxide - Nguyen Thi Lan, Nguyen Thi Tuyet Mai, Pham Van Thang, Huynh Dang Chinh, Ta Ngoc Dung, Luu Thi Lan Anh	118



Nghiên cứu chế tạo vật liệu copper ferrite biến tính với porphyrin ứng dụng làm xúc tác quang cho xử lý phẩm màu MB trong nước

Study on the synthesis of porphyrin-modified copper ferrite as photocatalyst for treatment of MB organic dye in aqueous media

Trần Văn Chinh¹, Nguyễn Tuấn Anh^{2,3}, Nguyễn Thị Hoài Phương¹, Mai Hữu Thuấn,⁵ Trần Văn Khanh¹, Đinh Thế Dũng¹, Nguyễn Thị Hồng Phương⁴, Trần Đại Lâm³, Lã Đức Dương^{1,*}

¹Viện Hóa học - Vật liệu, Viện Khoa học và Công nghệ Quân sự.

²Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

³Viện Kỹ thuật Nhiệt đới, Viện Hàn lâm Khoa học Việt Nam.

⁴Viện Kỹ thuật Hóa học, Đại học Bách Khoa Hà Nội.

⁵Viện Vật lý kỹ thuật, Đại học Bách Khoa Hà Nội.

*Email: duc.duong.la@gmail.com

ARTICLE INFO

Received: 20/8/2020

Accepted: 20/9/2020

Keywords: copper ferrite, porphyrin, photocatalysis, self-assembly

ABSTRACT

This work aims to modify the copper ferrite with a porphyrin derivatives by a simple method of self-assembly. The resultant porphyrin-modified copper ferrite was utilized as a photocatalyst for the removal of methyl blue dyes (MB) from aqueous solution. The results showed that the porphyrin nanofibers were well-intergrated with the copper ferrite nanoparticles. The porphyrin-modified copper ferrite materials exhibited the high photocatalytic performance toward MB dye with the removal percentage of approximately 100% after 200 minutes of irradiation under simulated light. The catalyst could be facilely separate by using a external magnet and reused.

Giới thiệu chung

Methylene Blue (MB) được sử dụng rộng rãi trong các mục đích công nghiệp, như in, nhuộm trong dệt, giấy, sơn, da... thuốc nhuộm MB khá độc, tan tốt trong nước cũng như các dung môi như methanol, ethanol. Thuốc nhuộm dệt cũng hoạt động như các tác nhân độc hại, gây đột biến và gây ung thư [1], khi tồn tại dưới dạng các chất gây ô nhiễm môi trường ngưng tụ sinh học.

Một số phương pháp đã được sử dụng để xử lý nước thải dệt nhuộm nói riêng và nước thải nói chung. Chúng có thể được phân loại thành ba loại: phương pháp hóa học, vật lý và sinh học [2]. Quá trình oxy hóa tiên tiến là một trong những phương pháp hóa học và có thể được phân loại thành quá trình quang xúc tác và

hóa học fenton phù hợp để xử lý nước thải có khả năng xử lý sinh học [3]. Rất nhiều vật liệu đã được sử dụng làm xúc tác quang để xử lý phẩm màu trong nước ví dụ như: TiO₂, bismuth oxyhalide, ZnO, g-C₃N₄, ferrite... Một trong những vật liệu được sử dụng cho mục đích làm xúc tác quang phổ biến hiện nay là ferrite bởi vì ngoài hiệu quả xúc tác quang tương đối tốt, chúng còn có từ tính mạnh làm cho quá trình thu hồi vật liệu sau xử lý trở nên dễ dàng hơn. Tuy nhiên so với các vật liệu xúc tác quang như TiO₂, thì hiệu quả của ferrite còn tương đối thấp. Do đó để tăng hiệu quả xúc tác quang của vật liệu trên cơ sở ferrite, thì vật liệu thường được biến tính với một số vật liệu khác để tăng khả năng hấp thụ ánh sáng và giảm khả năng tái tổ hợp nhanh của các cặp electron/lỗ trống quang sinh.

Trong các nghiên cứu trước, chúng tôi đã chế tạo thành công vật liệu copper ferrite@porphyrin nanofiber và ứng dụng làm xúc tác quang cho xử lý phẩm màu rohdamine [4]. Trong nghiên cứu này nhóm nghiên cứu tiếp tục đánh giá khả năng xúc tác quang của vật liệu copper ferrite biến tính porphyrin cho xử lý methyl blue trong môi trường nước

Thực nghiệm và phương pháp nghiên cứu

Dụng cụ và hóa chất

Hợp chất porphyrin TCPP được cung cấp bởi nhóm giáo sư Sheshanath V. Bhosale (Ấn Độ), Sắt (III) clorua hexahydrate, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (98%), Đồng clorua hydrat $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (99%), Natri hydroxit NaOH (99%), và Ethanol (99%) được mua từ Xilong Chemical Corporation, Trung Quốc. Nước cất 2 lần được sử dụng trong tất cả các phản ứng.

Tổng hợp hạt nano copper ferrite

Hạt nano CuFe_2O_4 spinel được điều chế bằng phương pháp đồng kết tủa hóa học. Trong đó, tỷ lệ mol của $\text{Cu}^{2+} : \text{Fe}^{3+}$ được giữ không đổi với tỉ lệ 1: 2. Trộn đều 1,17 g $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (0,01 mol) và 5,41 g $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (0,02 mol) và hòa tan trong 100 ml nước. Khuấy đến khi chất rắn tan hết. Thêm từ từ dung dịch NaOH 5M đến khi hỗn hợp đạt pH = 9 - 10. Khuấy từ gia nhiệt hỗn hợp trong 2h. Điều chỉnh nhiệt độ trong khoảng 80 - 90°C. Để nguội hỗn hợp, sau đó lọc rửa nhiều lần bằng nước cất để thu được hỗn hợp rắn $\text{Cu}(\text{OH})_2$ và $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Quá trình lọc rửa lặp đi lặp lại đến khi môi trường trung tính thì dừng lại. Sấy khô chất rắn thu được ở nhiệt độ 100°C trong 12h sau đó nung ở 800°C trong 2h. Nghiền nhỏ chất rắn sau khi nung thu được hạt nano spinel ferrite CuFe_2O_4 . Các sản phẩm được lưu trữ trong chân không để tiếp tục sử dụng cho những nghiên cứu và khảo sát sau đó.

Biến tính hạt nano copper ferrite với sợi nano porphyrin

Phương pháp trung hòa axit-bazơ có sự hỗ trợ của chất hoạt động bề mặt đã được sử dụng chế tạo vật liệu lai sợi nano CuFe_2O_4 /TCPP. Hòa tan 8 mg TCPP đơn phân trong 2 ml dung dịch NaOH 2M, lắc đều. Phân tán đều các hạt nano CuFe_2O_4 trong dung dịch TCPP bằng cách thêm CuFe_2O_4 với các tỉ lệ về khối lượng 10 CuFe_2O_4 : 1 TCPP khác nhau rồi siêu âm trong khoảng 10 - 15 phút. Thêm dung dịch HCl vào các mẫu thu được để trung hòa NaOH dư và gạn bỏ phần dung dịch. Sản phẩm thu được là vật liệu lai sợi nano CuFe_2O_4 /TCPP..

Xác định đặc trưng của vật liệu

Xác định thành phần pha vật liệu bằng phương pháp nhiễu xạ tia X (XRD) trên thiết bị X'Pert Pro sử dụng

$\text{CuK}\alpha$ góc quét từ 5° đến 90° tại Viện Hóa học - Vật liệu/Viện Khoa học và Công nghệ quân sự.

Hình thái học (SEM) trên thiết bị Hitachi S-4600 tại Viện Khoa học Vật liệu, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

Nghiên cứu khả năng xúc tác quang phân hủy MB của vật liệu

Phản ứng quang xúc tác phân hủy MB các mẫu vật liệu thực hiện trong điều kiện mô phỏng ánh sáng mặt trời trong tủ phản ứng quang hóa (đèn mô phỏng AHD350 với công suất tối đa là 350W). Dung dịch MB được sử dụng để đánh giá có nồng độ là 10 ppm, được rót vào các ống thủy tinh có dung tích là 20 ml, lượng xúc tác đưa vào là 20 mg. Các ống được đặt trên tấm gương phẳng và giữ chính xác khoảng cách từ tấm với đèn (khoảng 20 cm). Trước khi chiếu đèn, các dung dịch được đặt trong điều kiện bóng tối để đảm bảo quá trình hấp phụ đã cân bằng (trong 2 giờ). Bùng phản ứng quang hóa được làm mát bằng đối lưu cưỡng bức sử dụng quạt hút, tấm nền để mẫu cũng được làm mát bằng quạt con sò để đảm bảo nhiệt độ của dung dịch trong ống thủy tinh ổn định (khoảng 35°C) trong suốt quá trình chiếu đèn. Tại mỗi thời điểm nhất định, một ống được lấy ra từ tủ quang hóa, lọc tách chất xúc tác ra khỏi dung dịch MB sau phản ứng quang xúc tác. Phần dung dịch được đem phân tích và ghi lại sự thay đổi của pic hấp phụ cực đại MB (tại bước sóng 662 nm) trên thiết bị đo quang phổ hấp phụ Cary 5000 UV-Vis-NIR

Hiệu suất phân hủy MB được tính bằng công thức :

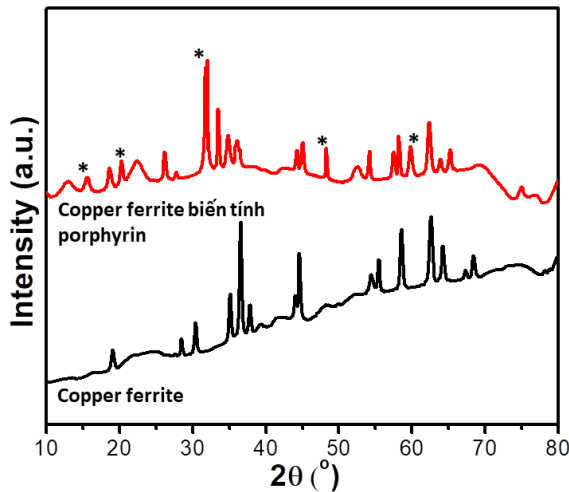
$$H = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \cdot 100\%$$

trong đó: H là hiệu suất phân hủy MB (%), C_0 , C_t lần lượt là nồng độ MB ban đầu và tại thời điểm t trong dung dịch (mg/L).

Kết quả và thảo luận

Giản đồ nhiễu xạ tia X của hạt nano CuFe_2O_4 (đường màu đen) và vật liệu lai CuFe_2O_4 /TCPP (đường màu đỏ) được thể hiện ở Hình 1. Trên phổ XRD, tất cả các đỉnh nhiễu xạ ở 18.3, 30.17, 35.5, 37.1, 43.2, 47, 53, 57.1, 62.7, 65.9 và 67° đặc trưng cho pha tinh thể của CuFe_2O_4 với nhóm không gian Fd-3m và các tham số ô mạng a = 8,37, b = 8,37 và c = 8,37 (PDF card No 01-077-0527) [5,6]. Các đỉnh nhiễu xạ đặc trưng này cũng được quan sát thấy trong phổ XRD của vật liệu lai CuFe_2O_4 /TCPP (đường màu đỏ). Điều đó cho thấy sự hình thành của vật liệu lai không làm thay đổi độ kết tinh của hạt nano

CuFe₂O₄. Những thay đổi nhỏ trong các đỉnh nhiễu xạ của CuFe₂O₄ trong phổ XRD của vật liệu lai được gán cho tương tác điện tử giữa CuFe₂O₄ và TCPP porphyrin. Các đỉnh bổ sung được đánh dấu bằng dấu hoa thị (*) được gán cho các đỉnh nhiễu xạ của các sợi nano TCPP, điều này cho thấy các tập hợp TCPP là tinh thể trong tự nhiên. Bên cạnh đó, ta nhận thấy rằng các phân tử TCPP đơn phân tử đã được tự lắp ráp thành công cùng với các hạt nano CuFe₂O₄ vì các đơn phân TCPP có bản chất vô định hình [7,8].

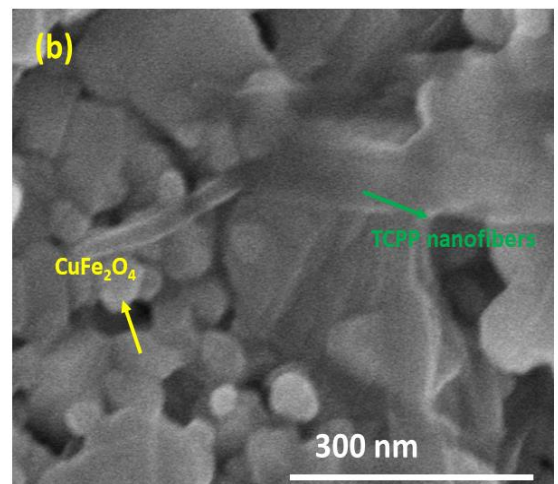
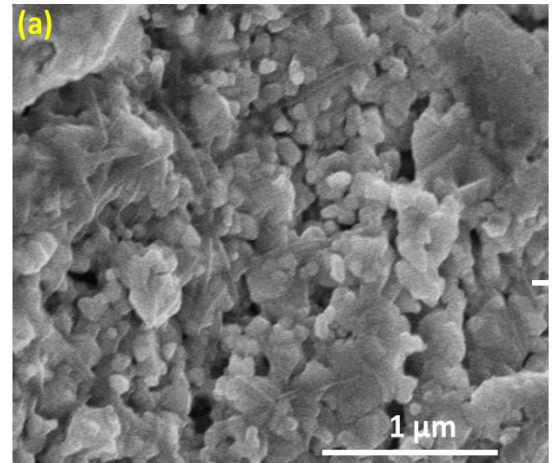


Hình 1: Giải đồ XRD của các hạt nano CuFe₂O₄ và vật liệu lai sợi nano CuFe₂O₄/TCPP

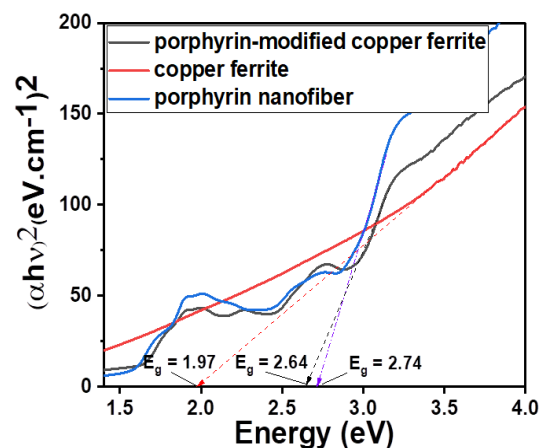
Hình thái học của vật liệu lai sợi nano CuFe₂O₄/TCPP được mô tả trong Hình 2. Từ hình 2 có thể thấy các hạt nano CuFe₂O₄ được tích hợp tốt vào mạng lưới sợi nano TCPP. Hình thái của các tập hợp CuFe₂O₄ và TCPP tương tự như các hạt nano CuFe₂O₄ và các sợi nano TCPP. Kết quả này cho thấy sự thành công trong việc chế tạo vật liệu lai CuFe₂O₄/TCPP.

Hình 3 minh họa đường cong Tauc được xác định từ phổ UV-Vis rắn của sợi nano TCPP tự lắp ráp, copper ferrit CuFe₂O₄ và vật liệu lai sợi nano CuFe₂O₄/TCPP. Chúng ta có thể thấy rõ ràng rằng năng lượng vùng cấm của vật liệu lai sợi nano CuFe₂O₄/TCPP là 2.64 eV, năng lượng vùng cấm này cao hơn so với copper ferrit (1.97 eV) và thấp hơn đối với sợi nano TCPP tự lắp ráp (2.74 eV). Năng lượng vùng cấm này của vật liệu lai sợi nano CuFe₂O₄/TCPP là 2.64 eV cho thấy rằng vật liệu lai này có thể được sử dụng làm vật liệu xúc tác quang hiệu quả trong vùng ánh sáng nhìn thấy.

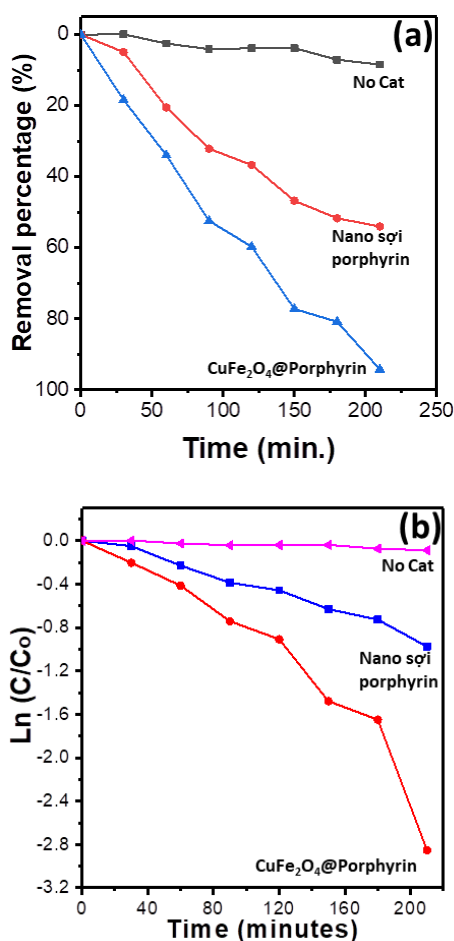
Kết quả nghiên cứu khả năng xúc tác quang phân hủy MB của vật liệu nano sợi porphyrin và vật liệu lai sợi CuFe₂O₄/TCPP được thể hiện ở Hình 4.



Hình 2: Ảnh SEM của vật liệu lai sợi nano CuFe₂O₄/TCPP



Hình 3. Đường Tauc xác định từ phổ UV-vis rắn của sợi TCPP, copper ferrit CuFe₂O₄ và vật liệu lai sợi nano CuFe₂O₄/TCPP

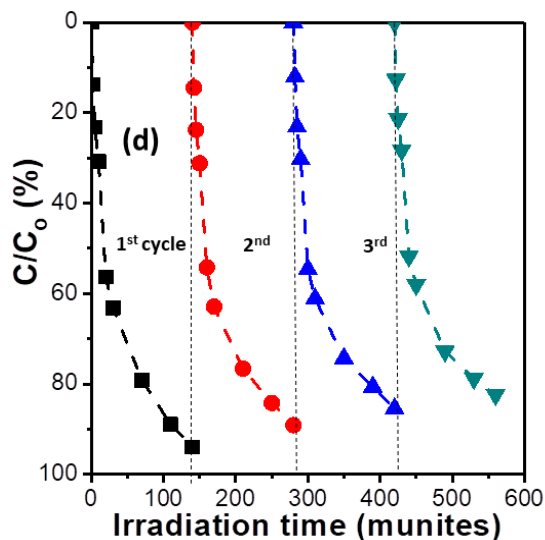


Hình 4: (a) Hoạt tính xúc tác quang phân hủy MB và (b) đường cong mô phỏng động học.

Hình 4.a cho thấy sự so sánh hoạt tính xúc tác quang của vật liệu nano sợi porphyrin và vật liệu lai CuFe₂O₄@Porphyrin qua sự suy giảm nồng độ MB. Vật liệu lai CuFe₂O₄@Porphyrin có hoạt tính xúc tác quang cao hơn đáng kể so với nano sợi porphyrin, phân hủy tới 99,56 % MB sau khoảng 200 phút chiếu sáng, trong khi đó đối với mẫu nano sợi porphyrin chỉ phân hủy 56 % MB. Để so sánh tốt hơn hiệu quả xúc tác của các mẫu trên, một nghiên cứu động học về sự suy giảm nồng độ MB được thực hiện bằng mô hình động học giả bậc nhất $\ln(C/C_0) = -kt$ (Hình 3.b), trong đó C_0 là nồng độ ban đầu của MB (mg/L), C là nồng độ của MB tại từng thời điểm t (mg/L), và k là hằng số tốc độ phản ứng liên tục (min^{-1}). Ta thấy giá trị $\ln(C/Co)$ biến thiên tỉ lệ thuận với thời gian phản ứng t .

Hình 5 thể hiện kết quả nghiên cứu khả năng tái sinh của chất xúc tác quang hóa CuFe₂O₄/TCPP đối với MB dưới bức xạ ánh sáng mặt trời mô phỏng. Có thể thấy rõ rằng hiệu suất xúc tác quang của vật liệu lai giảm không đáng kể sau bốn chu kỳ thí nghiệm với hiệu suất loại bỏ từ 100% cho chu kỳ 1 xuống 83% cho chu kỳ 4. Những kết quả này cho thấy rằng hoạt động xúc tác

quang của vật liệu nano lai CuFe₂O₄/TCPP là bền trong điều kiện thí nghiệm. Các chất xúc tác quang được sử dụng sau mỗi chu kỳ có thể được thu hồi một cách thuận tiện bằng cách sử dụng một từ trường bên ngoài.



Hình 5: Khả năng tái sinh của vật liệu lai CuFe₂O₄/TCPP

Kết luận

Đã chế tạo thành công vật liệu CuFe₂O₄ biến tính với dẫn xuất Porphyrin bằng phương pháp tự lắp ráp tạo thành vật liệu nano sợi CuFe₂O₄/TCPP. Các sợi nano porphyrin được tích hợp tốt với các hạt CuFe₂O₄. Vật liệu lai CuFe₂O₄/TCPP có năng lượng vùng cấm 2.64 eV, có khả năng hấp thụ tốt ánh sáng nhìn thấy. Kết quả khảo sát khả năng xúc tác quang phân hủy MB dưới ánh sáng mô phỏng ánh sáng mặt trời cho thấy, vật liệu lai phân hủy gần 100 % MB nồng độ 10 ppm sau 200 phút chiếu sáng. Vật liệu lai có khả năng tái sinh nhiều lần và dễ dàng được tách ra khỏi dung dịch bằng một từ trường ngoài.

Lời cảm ơn

Kết quả nghiên cứu được tài trợ bởi quỹ được tài trợ bởi Quỹ Phát triển khoa học và công nghệ Quốc gia (NAFOSTED) theo hợp đồng số 104.05-2019.01.

Tài liệu tham khảo

1. Imran, M.; Crowley, D.E.; Khalid, A.; Hussain, S.; Mumtaz, M.W.; Arshad, M. Reviews in Environmental Science Bio/Technology, 14 (2015) 73–92. <https://doi.org/10.1007/s11157-014-9344-4>
2. Robinson, T.; McMullan, G.; Marchant, R.; Nigam, P.J.B.t., 77 (2001) 247–255. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(00\)00080-8](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00080-8)

3. Holkar, C.R.; Jadhav, A.J.; Pinjari, D.V.; Mahamuni, N.M.; management, J.J.o.e., 182 (2016) 351–366. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.07.090>
4. La, D.D.; Tran, C.V.; Hoang, N.T.; Ngoc, M.D.D.; Nguyen, T.P.; Vo, H.T.; Ho, P.H.; Nguyen, T.A.; Bhosale, S.V.; Nguyen, X.C. Fuel, 281 (2020) 118655. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118655>
5. Z. Sun, L. Liu, D.z. Jia, W. Pan, Sensors and Actuators B: Chemical 125 (2007) 144. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2007.01.050>
6. Selvan, R.K.; Augustin, C.; Berchmans, L.J.; Saraswathi, R. Materials Research Bulletin, 38 (2003) 41–54. [https://doi.org/10.1016/S0025-5408\(02\)01004-8](https://doi.org/10.1016/S0025-5408(02)01004-8)
7. La, D.D.; Bhosale, S.V.; Jones, L.A.; Bhosale, S.V. Photochemical Photobiological Sciences, 16 (2017) 151–154. <https://doi.org/10.1039/C6PP00335D>
8. La, D.D.; Rananaware, A.; Thi, H.P.N.; Jones, L.; Bhosale, S.V. Advances in Natural Sciences: Nanoscience Nanotechnology 8 (2017) 015009. <https://doi.org/10.1088/2043-6254/aa597e>

