

1-	Photocatalytic degradation of Rhodamine-B under visible light region by ZnO nanoparticles loaded on activated carbon made from longan seed biomass - <i>Nguyen Van Hung, Bui Thi Minh Nguyet, Bui Thi Thuy Linh, Nguyen Huu Nghi, Nguyen Thanh Tuoi, Nguyen Anh Tien, Le Lam Son</i>	1
2-	Effect of synthesis conditions on methylene blue adsorption capacity of electrochemically prepared graphene - <i>Pham Van Hao, Ha Xuan Linh, Phung Thi Oanh, Phan Ngoc Hong, Nguyen Nhat Huy, Dang Van Thanh, Nguyen Van Dang</i>	9
3-	Study on the preparation of TiO₂/SiO₂ and the treatment capacity of 2-chloroethyl ethyl sulfide on the surface of sensitive equipment and components - <i>Hoang Kim Hue, Le Van Long, Hoang Thanh Thai, Le Minh Thao</i>	15
4-	Synthesis of TiO₂/g-C₃N₄ material for visible light driven photocatalytic degradation of methylene blue - <i>Dang Thi Ngoc Hoa, Nguyen Thi Thanh Tu</i>	21
5-	Multiwalled carbon nanotubes synthesis from methane using a stainless steel foils as a catalyst - <i>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</i>	27
6-	Sorption of Pb(II) and Cd(II) ions from aqueous solutions by activated biomass of common reed - <i>Nguyen Van Hung, Bui Thi Minh Nguyet, Nguyen Kim Nuong, Nguyen Huu Nghi, Nguyen Thanh Tuoi, Nguyen Anh Tien, Le Lam Son</i>	31
7-	Synthesis of Fe₃O₄/MIL-101 material and evaluation of photocatalytic activity - <i>Nguyen Van Kim, Huynh Thi Minh Thanh</i>	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 - <i>Pham Thi Thanh Huyen, Nguyen Binh Duong, Quan Thi Thu Trang, Phan Thi Ngoc Bich, Pham Van Lam</i>	45
9-	Photocatalytic activities of NiFe₂O₄/nitrogen-doping graphene oxide synthesized by hydrothermal method - <i>Nguyen Ngoc Minh, Le Thi Cam Nhung, Truong Cong Duc, Nguyen Thi Lieu, Nguyen Van Thang, Dinh Quang Khieu, Nguyen Thi Vuong Hoan</i>	52
10-	Synthesis of ZnMn₂O₄ nanostructure via hydrothermal method - <i>Nguyen Le My Linh, Do Mai Nguyen</i>	58
11-	Synthesis and application of Fe-BTC nanocomposites as highly efficient photocatalysts in the dye degradation - <i>Nguyen Ba Manh, Vu Anh Tuan, Le Ha Giang</i>	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-C₃N₄) - <i>Nguyen Thi Thu Ha, Nguyen Ngoc Ha</i>	69
13-	Synthesis, characterization and photocatalytic application of CNTs/ZnO composite - <i>Nguyen Duc Vu Quyen, Tran Ngoc Tuyen, Dang Xuan Tin, Ho Van Minh Hai, Bui Thi Hoang Diem, Dang Do, Ho Thi Thuy Dung</i>	75
14-	Adsorption PO₄³⁻ ion in aqueous solution using ZnO nanomaterials fabricated by electrochemical method - <i>Pham Huong Quynh, Luong Thi Anh, Luu Thi Liu, Ha Nam Phuong, Nguyen Phuong Chi, Nguyen Thanh Trung, Phung Thi Oanh</i>	82
15-	Fischer-Tropsch synthesis over Co/γ-Al₂O₃ catalyst loaded on ceramic monolith-structured substrate - <i>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</i>	88
16-	Synthesis and photocatalytic activity of ZnO/CuO composite for the degradation of methyl blue under visible light irradiation - <i>Nguyen Van Kim, Nguyen Thi Viet Nga, Vu Thi Thanh Tuyen, Vu Vien</i>	94
17-	Synthesis nanocomposite TiO₂-ZrO₂ for photocatalytic degradation of phenol and methylene blue (MB) - <i>Nguyen Thi Hai Yen, Le Thi Hong Hai, Pham Thi Minh Thao</i>	101
18-	Study on the synthesis of porphyrin-modified copper ferrite as photocatalyst for treatment of MB organic dye in aqueous media - <i>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</i>	107
19-	Study on Fabrication and investigation of the effects of copper salt precursor with different anions SO₄²⁻, Cl⁻, CH₃COO⁻ and NO₃⁻ on the structure and photocatalytic properties for decomposition of methyl orange dye of octahedral Cu₂O nanoparticles - <i>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</i>	112
20-	Studying effect of temperature on to formation and red congo absorption ability of copper oxide - <i>Nguyen Thi Lan, Nguyen Thi Tuyet Mai, Pham Van Thang, Huynh Dang Chinh, Ta Ngoc Dung, Luu Thi Lan Anh</i>	118



Tổng hợp vật liệu Fe₃O₄/MIL-101 và đánh giá hoạt tính xúc tác quang

Synthesis of Fe₃O₄/MIL-101 material and evaluation of photocatalytic activity

Nguyễn Văn Kim, Huỳnh Thị Minh Thành*

Trường Đại học Quy Nhơn, 170 An Dương Vương, Thành phố Quy Nhơn

*Email: huynthminhthanh@qnu.edu.vn

ARTICLE INFO

Received: 25/8/2020

Accepted: 20/9/2020

Keywords:

Fe₃O₄/MIL-101, photocatalytic, visible light, methylene blue font

ABSTRACT

In the present work, results synthesis of Fe₃O₄/MIL-101 material and evaluation of photocatalytic activity under visible light region. Characterization of Fe₃O₄/MIL-101 was investigated by using techniques including X-ray diffraction pattern (XRD), scanning electron microscopy (SEM), IR spectra and UV-visible absorption spectrometer. Evaluation of the photocatalytic activity of Fe₃O₄/MIL-101 material on the conversion of blue methylen solution under degradation in the visible light region.

Giới thiệu chung

Vật liệu khung hữu cơ kim loại (MOFs - Metal Organic Frameworks) là loại hợp chất được hình thành từ sự kết hợp của các ion hoặc cụm kim loại phối trí với các phối tử hữu cơ để tạo thành cấu trúc tinh thể 1 chiều, 2 hay 3 chiều trong không gian. Nhiều công bố khoa học cho thấy vật liệu MOFs có các thành phần chức năng trong phân tử có khả năng hấp thu ánh sáng và thúc đẩy quá trình quang xúc tác một cách tự nhiên [1]. Đây là điểm mà nhiều nhà nghiên cứu hướng đến với vật liệu khung hữu cơ kim loại MOF, để từ đó tạo ra nhiều đặc tính mong muốn với từng loại. Một trong những loại vật liệu cùng thuộc họ MOFs là MIL-101, được báo cáo bởi nhóm nghiên cứu của Férey et al. [2] có công thức: Cr₃X (H₂O)₂O(BDC)₃ trong đó X có thể là F hoặc OH; BDC là benzen-1,4-dicarboxylat, với nhiều đặc điểm nổi trội về diện tích bề mặt lớn (4500-5000 m²/g), có cấu trúc xốp rỗng, kích thước lỗ xốp lớn (29-34 Å). MIL-101 được ứng dụng để lưu trữ H₂ và CO₂ [3],[4], cảm biến [5], hấp phụ và tách khí [6] và xúc tác [7,8]. Để mở rộng khả năng ứng dụng của vật liệu MIL-101, hiện nay đã có nhiều hướng biến tính khác nhau trên nền vật liệu này như đưa các oxide kim loại [9,10] nhóm chức hữu cơ [11,12] hay kim loại [13,14]. Trong

đó, việc đưa vật liệu từ tính vào MIL-101 đã nhận được sự quan tâm đáng kể vì quy trình tổng hợp ở nhiệt độ thấp và tương đối dễ dàng. Gần đây nhóm nghiên cứu của Wang và cộng sự [15] đã công bố Fe₃O₄/MIL-101 được sử dụng làm xúc tác quang cho sự phân hủy các axit hữu cơ khỏi các dung dịch nước. Hay Fe₃O₄/MIL-101 còn là chất xúc tác dị thể cho phản ứng dime hóa o-phenylenediamine với sự có mặt của H₂O₂ [16].

Trong nghiên cứu này chúng tôi tiến hành tổng hợp Fe₃O₄/ MIL-101 bằng phương pháp đồng kết tủa, với tiền chất ban đầu là MIL-101. Đồng thời đánh giá tính chất xúc tác quang của vật liệu cho quá trình phân hủy xanh metylen trong môi trường nước dưới điều kiện ánh sáng đèn sợi đốt 60W.

Thực nghiệm và phương pháp nghiên cứu

Hóa chất và phương pháp đặc trưng vật liệu

- Hóa chất: chromium (III) nitrate nonahydrates Cr(NO₃)₃.9H₂O (Merck, Đức), Iron(III) chloride hexahydrate FeCl₃.6H₂O (Daejung, Hàn Quốc), Iron(II) chloride tetrahydrate (FeCl₂.4H₂O, Daejung, Hàn Quốc), terephthalic acid H₂BDC (Merck, Đức), fluorhydric acid HF (Guang zhou, Trung Quốc), ethanol C₂H₅OH (Việt Nam),

N,N-dimethylformamide (DMF) (Trung Quốc 99.5%), ammonium fluoride NH₄F (Guang zhou, Trung Quốc).

- Đặc trưng vật liệu: thành phần pha tinh thể của vật liệu được xác định bằng phương pháp nhiễu xạ tia X (XRD) trên thiết bị D8-Advance (Đức) với bức xạ CuK α ($\lambda = 1,5406\text{\AA}$). Hình thái và cấp hạt của vật liệu được quan sát bằng hiển vi điện tử quét (SEM) trên thiết bị JSM Jeol 5410 LV (Nhật Bản). Phổ hồng ngoại (FTIR) của vật liệu được ghi trên thiết bị BIO-RAD FTS-3000 (Nhật Bản). Khả năng hấp thụ ánh sáng của vật liệu được đặc trưng bằng phổ UV-vis (Thermo Scientific - Mỹ).

Tổng hợp vật liệu Fe₃O₄/MIL-101

Vật liệu MIL-101 được tổng hợp bằng phương pháp thủy nhiệt theo tài liệu [2]. Cho 0,5 gam MIL-101 vào 50 mL H₂O khuấy trong 1 giờ thu được dung dịch 1. Hòa tan hỗn hợp gồm: 1 mmol FeCl₂.4H₂O và 2 mmol FeCl₃.6H₂O trong 50 mL ethanol thu được dung dịch 2. Tiến hành khuấy cơ dung dịch 1 có dòng khí N₂ chạy qua liên tục, đồng thời nhỏ từng giọt dung dịch 2 vào dung dịch 1 trong 60 phút, thêm tiếp 14 mL NH₄OH vào, khuấy thêm 30 phút. Sản phẩm thu được đem ly tâm và rửa bằng H₂O. Sấy sản phẩm trong chân không ở 60°C trong 6 giờ thu được vật liệu Fe₃O₄/MIL-101 màu đen xám.

Khảo sát hoạt tính quang xúc tác

Cho 0,05 gam chất xúc tác và 100 mL dung dịch xanh metylen (MB) 30 mg.L⁻¹ vào cốc 250 mL. Hỗn hợp được khuấy trong bóng tối 6 giờ để đạt cân bằng hấp phụ. Sau đó chiếu đèn sợi đốt 60W. Tiếp tục khuấy trong 1 giờ, lọc lấy dung dịch đem ly tâm (tốc độ 6000 vòng/ phút) trong 15 phút. Nồng độ dung dịch MB được xác định bằng phương pháp trắc quang ở bước sóng 664 nm (UV 1800, Shimadzu). Hiệu suất phản ứng phân hủy MB được tính theo (1):

$$H(\%) = \frac{C_o - C_t}{C_o} \times 100 \quad (1)$$

Trong đó: C_o và C_t là độ hấp thụ của MB ban đầu và tại thời điểm t.

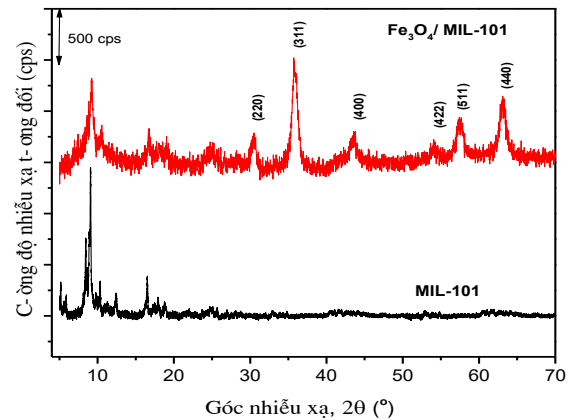
Kết quả phân tích COD của dung dịch màu được xác định bằng phương pháp ASTM [17].

Kết quả và thảo luận

Đặc trưng vật liệu

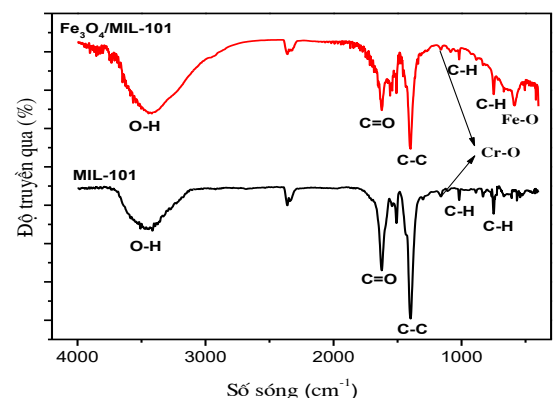
Giản đồ XRD của vật liệu MIL-101 và Fe₃O₄/MIL-101 ở hình 1 cho thấy, vật liệu Fe₃O₄/MIL-101 có các pic nhiễu xạ ở 31,7° (220); 35,8° (311); 42,5° (400); 54,1° (422); 57,5° (511); 63,7° (440) phù hợp với dữ liệu về phổ XRD của Fe₃O₄ theo JCPDS.No: 00-001-1111 và một số công

bố khác [18], [19]. Bên cạnh đó còn xuất hiện các pic đặc trưng của MIL-101 ở 3,46° (311); 5,25° (511); 8,5° (822); 9,1° (753); và 10,4° (880).



Hình 1. Giản đồ XRD của MIL-101 và Fe₃O₄/MIL-101

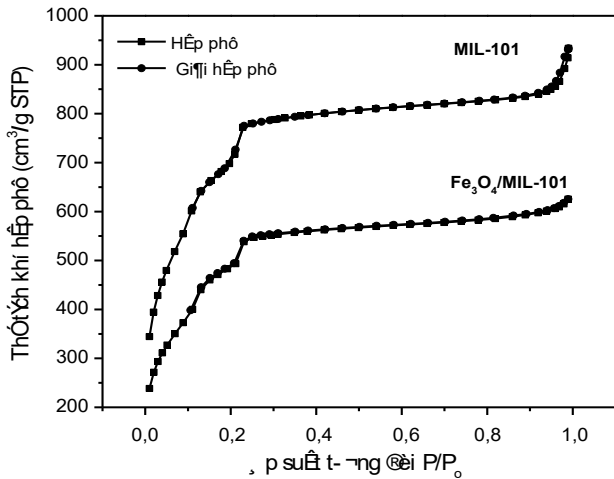
Trong phổ hồng ngoại hình 2, cả 2 mẫu đều có các pic tín hiệu trải rộng từ vùng 420 cm⁻¹ đến 3430 cm⁻¹. Dải hấp thụ có tần số 3427 cm⁻¹, đặc trưng cho dao động hóa trị của nhóm - OH trong nước hấp thụ. Dải hấp thụ ở 1398 cm⁻¹ tương ứng với dao động đối xứng C = O cho thấy sự hiện diện của dicarboxylate trong khung MIL-101. Các dải hấp thụ từ 592 đến 1580 cm⁻¹ là của vòng benzene bao gồm dao động hóa trị C = C tại 1508 cm⁻¹ và các dao động biến dạng C - H tại 1018, 831 và 748 cm⁻¹ [20]. Pic ở 1161 cm⁻¹ đặc trưng cho dao động của liên kết Cr - O. Ngoài ra, phổ của vật liệu Fe₃O₄/MIL-101 còn xuất hiện pic đặc trưng cho dao động của liên kết Fe - O ở số sóng 586 cm⁻¹, đặc trưng cho oxit sắt từ [21,22].



Hình 2: Phổ hồng ngoại của MIL-101 và Fe₃O₄/MIL-101

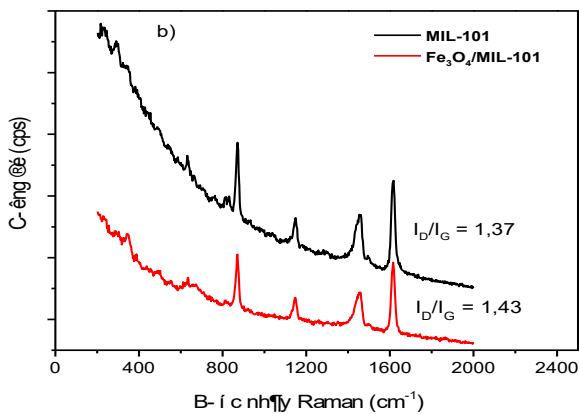
Hình 3 cho thấy, cả hai đều có dạng H4 theo phân loại của IUPAC, đây là dạng đường đẳng nhiệt hấp phụ đặc trưng cho vật liệu mao quản trung bình. Diện tích bề mặt theo phương pháp BET của vật liệu MIL-101 là 3360 m².g⁻¹. Việc biến tính bằng cách đưa oxit sắt từ

Fe₃O₄ lên khung MIL-101 đã làm giảm diện tích bề mặt còn 1860 m².g⁻¹. Điều này có thể do sự kết hợp các hạt Fe₃O₄, phân tán và có thể nằm xen kẽ giữa các khung liên kết trong vật liệu MIL-101 dẫn đến bị tích tụ và làm thu nhỏ khoảng cách giữa các mao quản của chúng, vì vậy làm diện tích bề mặt thu hẹp lại.



Hình 3: Đường cong hấp phụ - khử hấp phụ N₂ ở 77 K của MIL-101 và Fe₃O₄/MIL-101

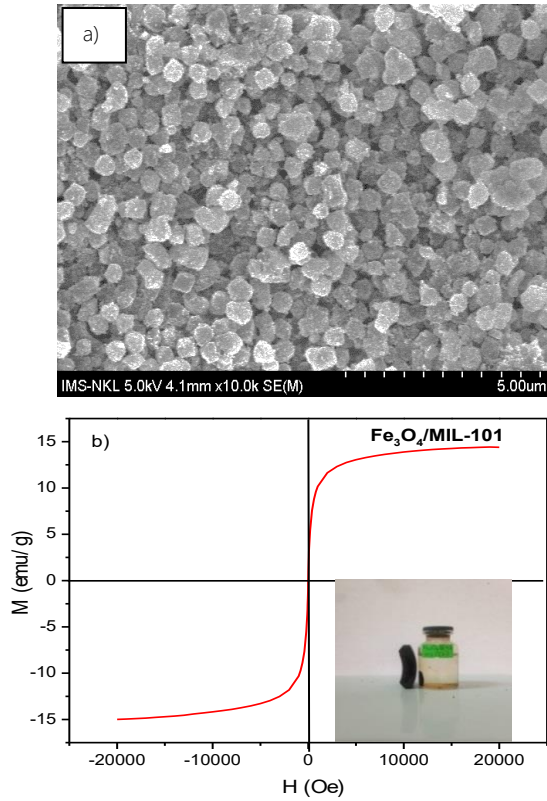
Mức độ khuyết tật của cấu trúc vật liệu được đánh giá qua tỷ lệ cường độ pic D và G (I_D/I_G), tỷ lệ này càng lớn thì mức độ khuyết tật càng cao. Hình 4 cho thấy tỷ lệ cường độ I_D/I_G của vật liệu Fe₃O₄/MIL-101 (1,43) cao hơn so với vật liệu MIL-101 (1,37), chứng tỏ mức độ khuyết tật của vật liệu đã tăng lên khi đưa oxit sắt từ lên bề mặt MIL-101.



Hình 4: Phổ Raman của MIL-101 và Fe₃O₄/MIL-101

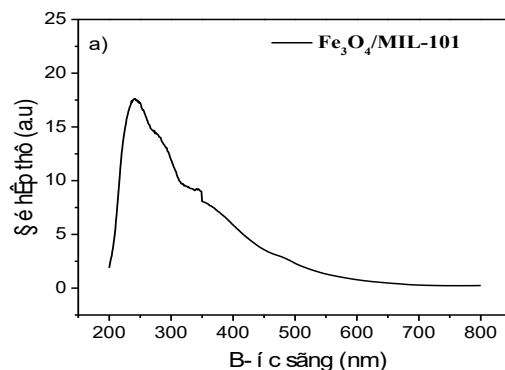
Từ ảnh SEM ở hình 5a cho thấy, vật liệu Fe₃O₄/MIL-101 cũng có dạng hình bát diện đặc trưng của MIL-101. Tuy nhiên ở đây các hình bát diện có cạnh thô hơn, điều này có thể là do sự kết hợp của các hạt oxit sắt trên bề mặt của MIL-101. Trong hình 5b đường cong từ hóa của vật liệu Fe₃O₄/MIL-101 cho kết quả không có tính trễ dưới tác dụng của từ trường ngoài chứng tỏ Fe₃O₄/MIL-101 tổng hợp được có tính siêu thuận từ.

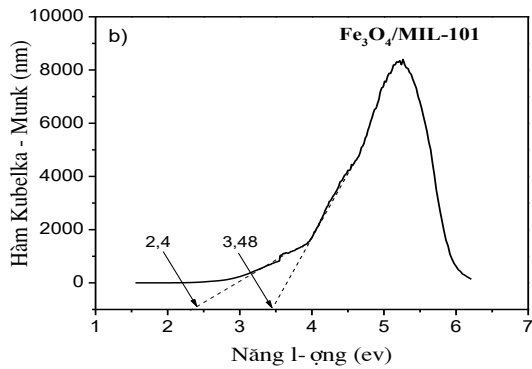
Qua ảnh phụ trong hình 5b nhận thấy vật liệu phân tán tốt trong nước, dựa vào từ tính của các hạt oxit sắt từ nên vật liệu Fe₃O₄/MIL-101 dễ dàng tách ra khỏi dung dịch nhờ nam châm. Tính năng này hứa hẹn khả năng thu hồi và tái sử dụng khi sử dụng vật liệu làm chất hấp phụ.



Hình 5: (a) Ảnh SEM và (b) đường cong từ trễ của Fe₃O₄/MIL-101

Đánh giá khả năng hấp thụ bức xạ của vật liệu Fe₃O₄/MIL-101 được đặc trưng bằng phương pháp UV-vis mẫu rắn trong hình 6. Kết quả ở phổ UV-vis rắn (hình 6a) của Fe₃O₄/MIL-101 có khả năng hấp phụ ánh sáng trong vùng khả kiến từ 300 đến 600 nm. Giá trị năng lượng vùng cấm của vật liệu được tính toán dựa vào kết quả của phổ UV-vis qua hàm Kubelka - Munk (hình 6b), có giá trị năng lượng vùng cấm là 2,4 - 3,48 eV.





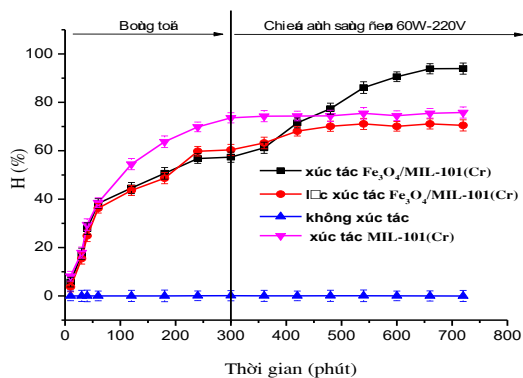
Hình 6: (a) Phổ UV-vis ở trạng thái rắn và (b) đồ thị biểu diễn hàm Kubelka-Munk theo năng lượng ánh sáng hấp thụ của Fe₃O₄/MIL-101

Đánh giá hoạt tính xúc tác quang của vật liệu

Từ kết quả phân tích phổ UV-vis rắn trên, chúng tôi đánh giá hoạt tính quang xúc tác của vật liệu qua điều kiện chiếu ánh sáng đèn sợi đốt 60W.

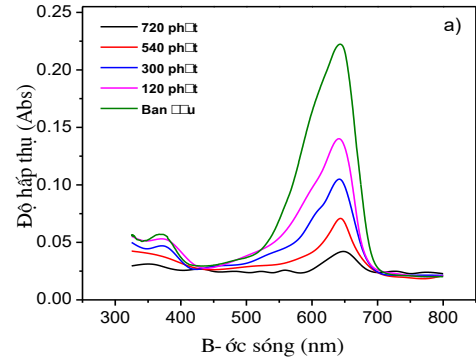
Qua hình 7 cho thấy, khi không có xúc tác và chiếu sáng gần 700 phút màu dung dịch MB gần như không thay đổi. Khi có mặt xúc tác: MIL-101 có sự hấp phụ mạnh và đạt cân bằng ở 300 phút với hiệu suất 73,5 % cao hơn so với Fe₃O₄/MIL-101 chỉ có 57,3 %. Tuy nhiên, khi có chiếu sáng màu dung dịch MB bị mất gần như hoàn toàn trong dung dịch có chứa xúc tác Fe₃O₄/MIL-101 sau 600 phút, trong khi đó dung dịch có chứa xúc tác MIL-101 thì màu dung dịch MB gần như không thay đổi. Vậy ở đây có thể thấy xúc tác MIL-101 không làm phân hủy dung dịch MB mà chỉ xảy ra quá trình hấp phụ.

Một thí nghiệm tương tự với sự có mặt của xúc tác Fe₃O₄/MIL-101, nhưng sau 400 phút xúc tác được lọc ra. Kết quả cho thấy sự mất màu MB không đổi mặc dù ánh sáng vẫn được chiếu. Điều đó chứng tỏ xúc tác Fe₃O₄/MIL-101 là xúc tác dị thể trong phản ứng phân hủy MB.



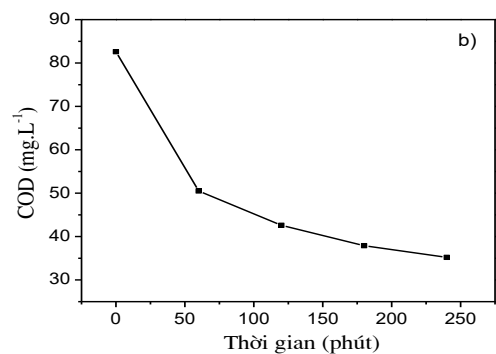
Hình 7: Ảnh hưởng của thời gian đến hiệu suất phân hủy MB ở các điều kiện khác nhau

Phổ UV-vis của dung dịch MB trong điều kiện chiếu sáng theo thời gian ở hình 8 cho thấy, có cực đại hấp thụ ở 650 nm. Điều này liên quan đến sự chuyển dịch điện tử π-π* trong phân tử MB và do vậy, cường độ màu giảm dần theo thời gian.



Hình 8: Phổ UV-vis của dung dịch ở các thời gian chiếu sáng khác nhau

Kết quả phân tích COD của dung dịch màu trong điều kiện chiếu sáng và có mặt xúc tác Fe₃O₄/MIL-101 ở hình 9 cho thấy có sự giảm dần theo thời gian từ 82,6 mg.L⁻¹ đến 35,2 mg.L⁻¹. Điều này có thể cho thấy đã có sự phân hủy quang hóa MB khi có mặt của xúc tác Fe₃O₄/MIL-101 ở điều kiện chiếu đèn sợi đốt.



Hình 9: COD của dung dịch ở các thời gian chiếu sáng khác nhau

Như vậy với kết quả khảo sát sơ bộ khả năng phân hủy MB trong dung dịch ở trên cho thấy vật liệu Fe₃O₄/MIL-101 có khả năng làm chất xúc tác quang ở điều kiện chiếu đèn sợi đốt.

Kết luận

Đã tổng hợp thành công vật liệu Fe₃O₄/MIL-101 với cường độ tinh thể cao, cấu trúc bát diện và phân bố khá đồng đều. Vật liệu có khả năng làm xúc tác quang hóa cho sự phân hủy MB trong dung dịch với hiệu suất đạt 97,02% ở điều kiện chiếu đèn sợi đốt.

Tài liệu tham khảo

1. J. Wang, C. Wang, W. Lin, *Catalysis*, 2 (2012) 2630–2640 <https://doi.org/10.1021/cs3005874>
2. G. Férey, C. Mellot-Draznieks, C. Serre, F. Millange, J. Dutour, S. Surblé, I. Margiolaki. *Science* 309 (2005) 2040–2042. <https://doi.org/10.1126/science.1116275>
3. Zhewei Yu., *Universite Paris Saclay*, 2016, p. 867.
4. Zhijuan Zhang, Sisi Huang, Shikai Xian, Hongxia Xi, and Zhong Li. *Energy & Fuels*, 25 (2011) 835–842. <https://doi.org/10.1021/ef101548g>
5. L.E. Kreno, K. Leong, O.K. Farha, M. Allendorf, R.P. Van Duyne, J.T. Hupp. *Chem. Rev.* 112 (2012) 1105–1125. <https://doi.org/10.1021/cr200324t>
6. H.B.T. Jeazet, C. Staudt, C. Janiak. *Chem. Commun.* 48 (2012) 2140–2142. <https://doi.org/10.1039/C2CC16628C>
7. A. Corma, H. García, F.X. Llabrés i Xamena. *Chem. Rev.* 110 (2010) 4606–4655. <https://doi.org/10.1021/cr9003924>
8. N.T.S. Phan, T.T.Nguyen, Q.H. Luu, L.T.L. Nguyen. *Catal. A* 363–364 (2012) 178–185. <http://doi.org/10.1016/j.molcata.2012.06.07>
9. Mrinal Saikia, Diganta Bhuyan and Lakshi Saikia. *New J. Chem.* 39 (2015) 64–67. <https://doi.org/10.1039/C4NJ01312C>
10. Myung-Geun Jeong, Dae Han Kim, Su-Kyung Lee, Ju Ha Lee, Sang Wook Han, Eun Ji Park, Katie A. Cychosz, Matthias Thommes, Young Kyu Hwang, Jong-San Chang, Young Dok Kim. *Microporous and Mesoporous Materials*, 221 (2016) 101–107. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2015.09.027>
11. Martin Lammert, Stephan Bernt, Frederik Vermoortele Dirk E. De Vos and Norbert Stock. *Inorganic Chemistry*, 52 (2013) 8521–8528. <https://doi.org/10.1021/ic4005328>
12. Babak Samiey, Chil-Hung Cheng, and Jiangning Wu. *Materials*, 7 (2014), 673–726. <https://doi.org/10.3390/ma7020673>
13. Hongli Liu, Yaling Liu, Yingwei Li, Zhiyong Tang and Huanfeng Jiang. *The Journal of Physical Chemistry C*, 114 (2010) 13362–13369. <https://doi.org/10.1021/jp105666f>
14. Yingyi Pan, Bizhen Yuan, Yingwei Li and Dehua He. *Chemical Communications*, 46 (2010) 13, 2280–2289. <https://doi.org/10.1039/B922061E>
15. T. Wang, P. Zhao, N. Lu, H. Chen, C. Zhang, X. Hou. *Chem. Eng. J.* 295 (2016) 403–413. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.03.016>
16. Z.W. Jiang, Y.F.L. Fu Qiang Dai, C.Z. Huang. *RSC Adv.* 6 (2016) 86443–86446. <https://doi.org/10.1039/C6RA19170C>
17. A.E. Greenberg, *American Public Health Association*, Washington, DC, 1985, 78.
18. Chao-Feng Zhang, Ling-Guang Qiu, Fei Ke, Yu-Jun Zhu, Yu-Peng Yuan G.-S.X., X.J. *J. Mater. Chem. A*, 45 (2013). 4329–4334. <https://doi.org/10.1039/C3TA13030D>
19. Esparza R., Perez R.A., Ruíz-baltazar A., et al. *Journal of Nanomaterials*, 6 (2015) 1–8. <https://doi.org/10.1155/2015/240948>
20. Liu Q., Ning L., Zheng S., Tao M., Shi Y., He Y., *Scientific Reports*. 3 (2013), 1–6. <https://doi.org/10.1038/srep02916>
21. Press A.I.N. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 279 (2004) 210–217. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2004.01.094>
22. Zhang J.L., Srivastava R.S., Misra R.D.K. *Langmuir*, 23 (2007) 6342–6351. <https://doi.org/10.1021/la0636199>

