

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



Tổng hợp, nghiên cứu khả năng xúc tác quang của vật liệu nanocomposit $\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2$ cho phản ứng phân hủy phenol và xanh metylen (MB)

Synthesis nanocompsite $\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2$ for photocatalic degration of phenol and methylene blue (MB)

Nguyễn Thị Hải Yến, Lê Thị Hồng Hải, Phạm Thị Minh Thảo*

Trường Đại học Sư phạm Hà Nội, 136 Xuân Thủy – Cầu Giấy – Hà Nội

*Email: minhthao.hnue@gmail.com

ARTICLE INFO

Received: 08/9/2020

Accepted: 15/9/2020

Keywords:

TiO_2 , ZrO_2 , photocatalytic activity, phenol, methylene blue degradation

ABSTRACT

A series of $\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2$ binary oxide samples with various $\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2$ content (90-10, 80-20, 70-30, 60-40, 50-50 mol %) were prepared by the co-precipitation method. The obtained samples were characterized by XRD, SEM, EDX, UV-vis, IR spectroscopy and BET. XRD data identified the anatase phase of the TiO_2 and tetragonal, monoclinic phases of ZrO_2 in all obtained samples. The average crystallite size of the samples was between 16 to 21 nm. As UV-Vis spectra, the band gaps of $\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2$ composites vary from 2,5 eV to 3,1 eV. The photocatalytic reactions confirmed that the nanocomposite sample showed higher photocatalytic activity than the pure oxides samples for the degradation of phenol and methylene blue (MB) under 100 W incandescent lamp. Among the prepared samples, the best sample for photocatalytic degradation of MB is the ĐKT9-1 which contains 90% TiO_2 and 10% ZrO_2 with a percentage 95% after 180 minutes. The ĐKT8-2 which contains 80% TiO_2 and 20% ZrO_2 shows the best phenol removal efficiency of 97% after 30 minutes. This indicates that the materials are capable of treating MB and phenol in wastewater.

Giới thiệu chung

Hiện nay việc nghiên cứu tìm kiếm các phương pháp xử lý chất hữu cơ độc hại, ô nhiễm như phenol, benzene, hoặc các phẩm nhuộm như xanh methylene đang được nhiều nhà khoa học quan tâm. Quang xúc tác là một phương pháp được chú ý nghiên cứu cho quá trình oxi hóa phân hủy các chất hữu cơ độc hại ô nhiễm. TiO_2 là một trong những xúc tác quang được sử dụng rộng rãi với hoạt tính xúc tác tương đối cao, ổn định, chi phí thấp và không độc hại [1- 4]. Tuy nhiên, khả năng xúc tác quang của TiO_2 bị hạn chế

do năng lượng vùng cấm lớn (3,2 eV đối với pha anatase và 3,02 eV đối với pha rutile) nên chỉ hoạt động trong vùng tử ngoại [1]. Để khắc phục nhược điểm về giới hạn bước sóng hấp thụ, các nguyên tố kim loại, phi kim (Ni, W, V, Co, N ...) đã được pha tạp vào mạng nền TiO_2 [5-7].

Gần đây, một số nghiên cứu cho thấy hệ oxit hỗn hợp $\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2$ có kích thước nanomet cho khả năng xúc tác tốt hơn so với từng oxit riêng lẻ [1-4]. ZrO_2 là xúc tác axit và là chất bán dẫn loại n [3,4]. Do đó TiO_2 và ZrO_2 có khả năng hỗ trợ nhau về tính axit – bazơ và

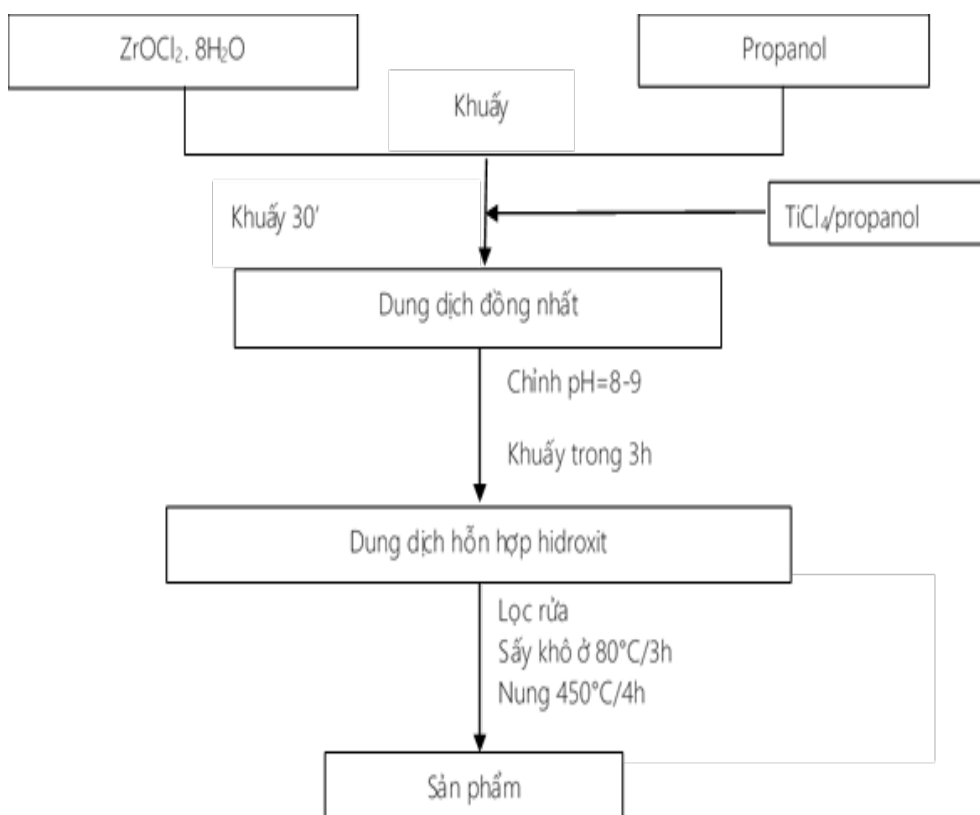
giảm năng lượng vùng cấm khi tạo thành hệ ghép. Tùy thuộc vào điều kiện tổng hợp, hệ vật liệu này có đặc điểm bề mặt thay đổi so với các oxit riêng lẻ ban đầu do sự hình thành các vị trí mới tại bề mặt chuyển tiếp của các oxit. Sự xuất hiện các vị trí này làm tăng tính ổn định của pha tinh thể có hoạt tính quang xúc tác [4].

Trong bài báo này, chúng tôi trình bày kết quả tổng hợp vật liệu nanocomposite $\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2$ bằng phương pháp đồng kết tủa. Đồng thời nghiên cứu khả năng xúc tác quang cho phản ứng phân hủy phenol và xanh metylen dưới ánh sáng đèn sợi đốt 100 W.

Thực nghiệm và phương pháp nghiên cứu

Tổng hợp vật liệu và đặc trưng xúc tác

Các vật liệu nanocomposit $\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2$ được tổng hợp bằng phương pháp đồng kết tủa [8] từ $\text{ZrOCl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ và TiCl_4 trong dung môi propanol, $\text{pH}=8\div 9$, sau đó được nung ở 450°C trong 4 giờ. Tỷ lệ mol giữa $\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2$ trong các mẫu là 90-10, 80-20, 70-30, 60-40, 50-50 (tương ứng với ký hiệu mẫu ĐKT9-1, ĐKT8-2, ĐKT7-3, ĐKT6-4, ĐKT5-5). Quy trình tổng hợp vật liệu được trình bày dưới hình 1.



Cấu trúc và tính chất của vật liệu được xác định bằng các phương pháp: nhiễu xạ tia X (XRD) và kính hiển vi điện tử quét (SEM) được đo tại viện Vật liệu, phổ tán

xạ năng lượng EDX được đo tại viện Kỹ thuật nhiệt đới, viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam; phổ hấp thụ UV-Vis và phổ hồng ngoại (IR) được đo tại khoa Vật lý, diện tích bề mặt (BET) được đo tại khoa Hóa học trường Đại học Sư phạm Hà Nội.

Hoạt tính xúc tác của vật liệu $\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2$ trong phản ứng phân hủy phenol và xanh metylen

Vật liệu $\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2$ sau khi tổng hợp được nghiên cứu khả năng xúc tác cho phản ứng phân hủy phenol và xanh metylen dưới ánh sáng đèn sợi đốt 100 W. Đối với phản ứng phân hủy phenol 100mg vật liệu nanocomposit $\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2$ được khuấy trộn với 100mL phenol nồng độ 10^{-4} M. Đối với phản ứng phân hủy xanh metylen 50 mg vật liệu nanocomposit $\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2$ được khuấy trộn với 100 mL MB nồng độ $3 \cdot 10^{-5}$ M. Trong 30 phút đầu, hỗn hợp được đặt trong bóng tối để cân bằng hấp phụ, sau đó được chiếu đèn sợi đốt 100 W trong 6 giờ. Sau những khoảng thời gian xác định, một lượng hỗn hợp mẫu được lấy ra, lọc và phân tích thành phần.

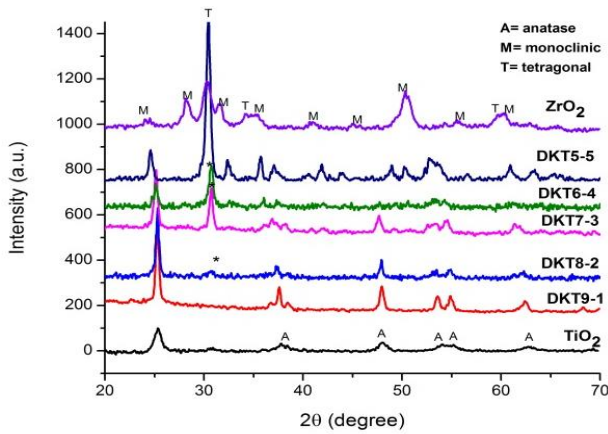
Hàm lượng phenol còn lại được xác định dựa trên diện tích pic phenol ghi nhận trên máy sắc kí lỏng hiệu năng cao (HPLC) tại khoa Hóa học - ĐHSPHN. HPLC sử dụng cột ODS C18 và detector hấp thụ tử ngoại,

dung môi là hỗn hợp 40% Methanol – 60% H₃PO₄ về thể tích, bước sóng sử dụng cho detector là 275 nm, thời gian ghi nhận tín hiệu pic là 5 phút. Hàm lượng MB còn lại được xác định dựa trên độ hấp thụ của MB tại bước sóng 665nm trên máy UV-Vis tại khoa Hóa học – ĐHSPHN.

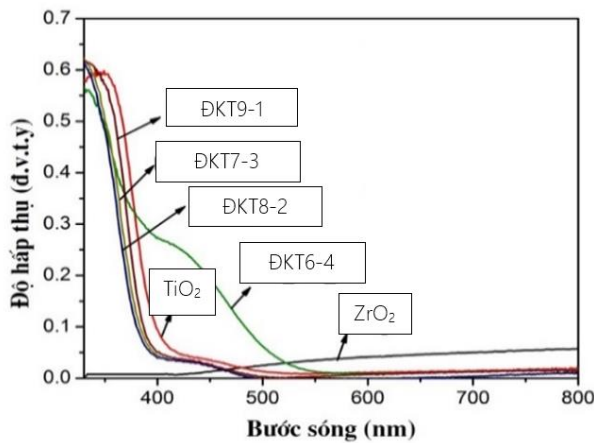
Kết quả và thảo luận

Đặc trưng xúc tác

Các mẫu vật liệu nanocomposit TiO₂-ZrO₂ được tổng hợp với tỉ lệ mol tương ứng 90-10, 80-20, 70-30, 60-40, 50-50 (%), các sản phẩm thu được đều có dạng bột mịn và màu trắng. Hình 2 trình bày giản đồ XRD (2.a), phổ UV-Vis (2.b) của các mẫu TiO₂, ZrO₂ và mẫu nanocomposit TiO₂-ZrO₂ theo các tỉ lệ.



(2.a)



(2.b)

Hình 2: Giản đồ XRD (2.a), phổ UV-Vis của các mẫu TiO₂, ZrO₂ và mẫu nanocomposit TiO₂-ZrO₂ theo các tỉ lệ (2.b)

Giản đồ XRD cho thấy các mẫu nanocomposit TiO₂-ZrO₂ có các đỉnh nhiễu xạ tương ứng với các góc 24,5°; 28,2°; 31,5°; 35,3°; 40,7°; 44,8° ;50,5°; 50,9°; 62,9° của vật liệu ZrO₂ pha monoclinic và có sự xuất

hiện thêm các đỉnh nhiễu xạ của pha tetragonal của vật liệu ZrO₂ tại các vị trí 30,27°; 34,79°; 60,2°. Đồng thời có mặt các đỉnh nhiễu xạ tại các vị trí 25,3°; 37,8°; 48,1°; 53,9°; 55,1°; 62,7° của vật liệu TiO₂ pha anatase. Giản đồ XRD cho thấy, khi tăng hàm lượng % ZrO₂ thì các đỉnh nhiễu xạ của pha monoclinic và pha tetragonal của ZrO₂ xuất hiện rõ rệt với cường độ ngày càng tăng, điều này cho thấy sự kết hợp Zr vào bên trong mạng tinh thể TiO₂. Khi Zr được thêm vào tinh thể TiO₂, ngoài pha anatase còn có sự xuất hiện của các pic đặc trưng của cả TiO₂ và ZrO₂. Kích thước tinh thể trung bình của các mẫu, tính theo công thức Scherrer

$$r = \frac{0,89.\lambda}{\beta.\cos\theta}$$

Trong đó *r* là kích thước tinh thể trung bình của vật liệu tổng hợp được (nm), λ là bước sóng k_α của anot (Å), β là độ bán mở rộng vạch pic đặc trưng (radian), θ là góc nhiễu xạ bragg ứng với pic cực đại (độ). Kết quả được trình bày ở bảng 1.

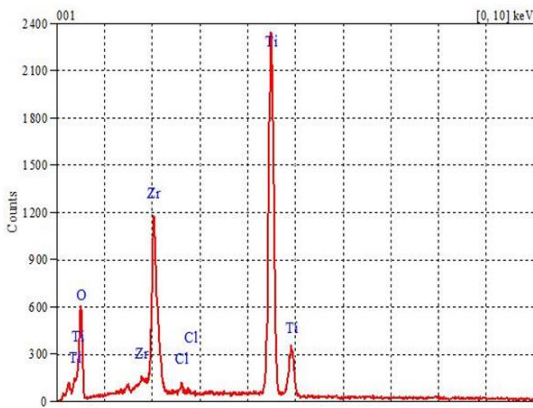
Bảng 1: Kết quả tính kích thước tinh thể và năng lượng vùng cấm của các mẫu

Mẫu	KTTT trung bình (nm)	Năng lượng vùng cấm E _g (eV)
TiO ₂	20	3,13
ZrO ₂	21,2	4,55
DKT9-1	20	3,1
DKT8-2	21,6	3,07
DKT7-3	19,1	3,06
DKT6-4	16,9	2,5
DKT5-5	18,2	-

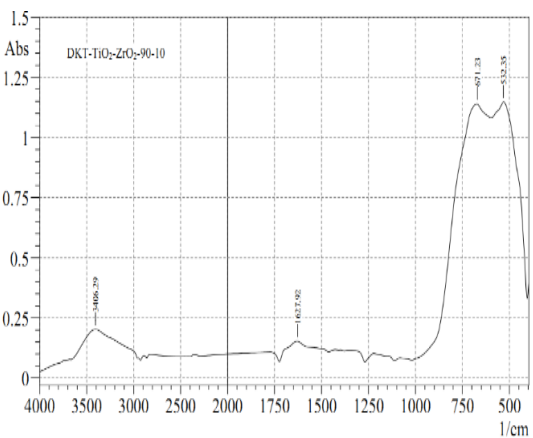
Kết quả đo UV-Vis của các mẫu vật liệu cho thấy có sự dịch chuyển dịch bờ hấp thụ về vùng ánh sáng khả kiến. Năng lượng vùng cấm được tính theo công thức Kubelka – Munk: (hν.α) = A(hν - E_g)^{1/2}. Trong đó, h là hằng số Plank, ν là tần số ánh sáng, α là hệ số hấp thụ, E_g là bề rộng dải cấm, A là hệ số tỉ lệ. Kết quả tính E_g được trình bày ở bảng 1. Kết quả cho thấy các mẫu oxit hỗn hợp TiO₂ – ZrO₂ có năng lượng vùng cấm giảm còn khoảng 3,1÷2,5 (eV). Sự dịch chuyển sự hấp thụ bức xạ về vùng khả kiến và giảm năng lượng vùng cấm là yếu tố tốt, làm tăng hoạt tính xúc tác quang của các mẫu vật liệu.

Kết quả đo EDX của mẫu ĐKT7-3 (Hình 3.a) cho thấy tỉ lệ nguyên tử Ti : Zr là 20,56 : 5,75 \approx 3,6 : 1 (tương đương 78%-22%) khá phù hợp với lượng tính toán lý thuyết ban đầu. Kết quả này cho thấy các nguyên tố Ti và Zr đã đi vào cấu trúc tinh thể của hệ oxit hỗn hợp $\text{TiO}_2 - \text{ZrO}_2$.

Phổ hấp thụ hồng ngoại của mẫu ĐKT9-1 (Hình 3.b) cho thấy, xuất hiện vân hấp thụ ở 3406 cm^{-1} và 1627 cm^{-1} đặc trưng cho dao động hóa trị của các nhóm OH bề mặt và có liên kết hydro giữa chúng [4]. Vân hấp thụ tại vị trí 671 cm^{-1} được quy kết cho dao động hóa trị của liên kết Ti-O. Vân hấp thụ đặc trưng cho dao động hóa trị của liên kết Zr-O trong ZrO_2 tinh khiết là 430 cm^{-1} . Trong mẫu vật liệu ĐKT9-1 vân hấp thụ đặc trưng cho liên kết này xuất hiện tại 532 cm^{-1} , dịch chuyển ở giữa vân hấp thụ đặc trưng cho TiO_2 tinh khiết và ZrO_2 tinh khiết cho thấy đã có một phần liên kết Ti-O-Zr trong vật liệu. Kết hợp với kết quả XRD, EDX cho thấy đã có sự tạo thành vật liệu composit $\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2$.

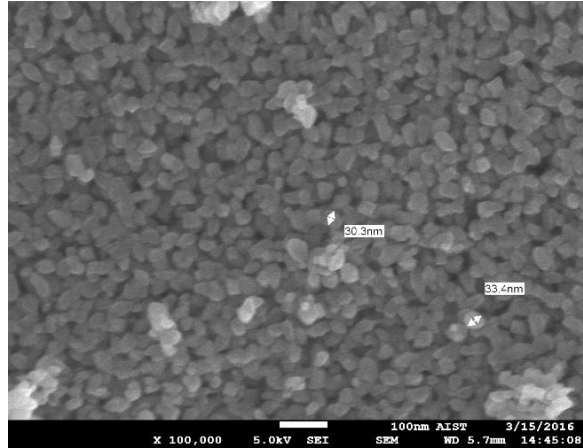


(3.a)



(3.b)

Hình 3: Phổ EDX của mẫu ĐKT7-3 (3.a) và phổ IR của mẫu ĐKT9-1 (3.b)



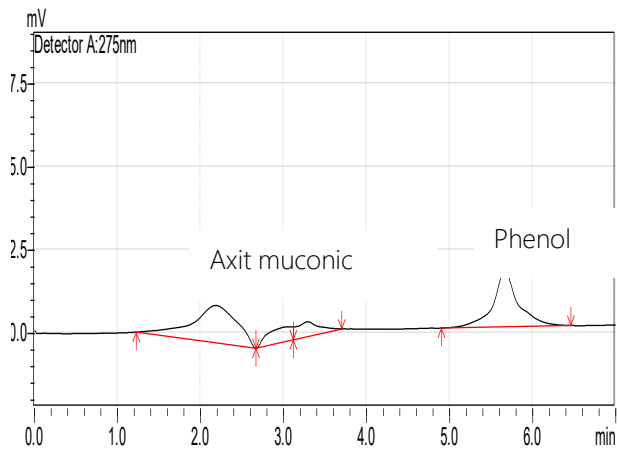
Hình 4: Ảnh SEM của mẫu ĐKT9-1

Ảnh SEM mẫu ĐKT9-1 (Hình 4) cho thấy các hạt phân bố đồng đều, không bị kết đám, phân tách riêng rẽ, rõ nét với kích thước hạt khoảng 30 nm. Kết quả đo BET mẫu ĐKT6-4 cho thấy, vật liệu có giá trị diện tích bề mặt riêng trung bình với $\sigma = 6,26 \text{ m}^2/\text{g}$.

Hoạt tính xúc tác của vật liệu

Phản ứng quang xúc tác phân hủy phenol

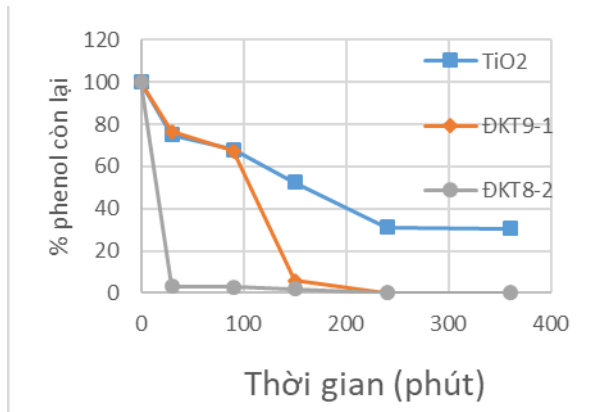
Vật liệu ghép $\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2$ với hàm lượng khác nhau đã được thử khả năng xúc tác quang cho phản ứng phân hủy phenol dưới ánh sáng đèn sợi đốt. Hàm lượng phenol còn lại trong dung dịch được xác định bằng phương pháp HPLC. Khi được chiếu sáng, dưới tác dụng của chất xúc tác $\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2$ phenol đã bị phân hủy một phần thành axit muconic và cuối cùng bị oxy hóa hoàn toàn thành CO_2 và H_2O [10] (Hình 6)



Hình 6: Sắc kí đồ phản ứng phân hủy phenol bằng mẫu ĐKT8-2 sau 90 phút chiếu sáng

Kết quả xúc tác quang phân hủy phenol của mẫu TiO_2 , ĐKT9-1, ĐKT8-2 (Hình 7) cho thấy vật liệu ĐKT9-1 và ĐKT8-2 có khả năng phân hủy phenol tốt hơn nhiều so với mẫu TiO_2 , sau 240 phút phenol đã bị phân hủy hoàn toàn. Mẫu ĐKT8-2 có khả năng xúc tác quang tốt

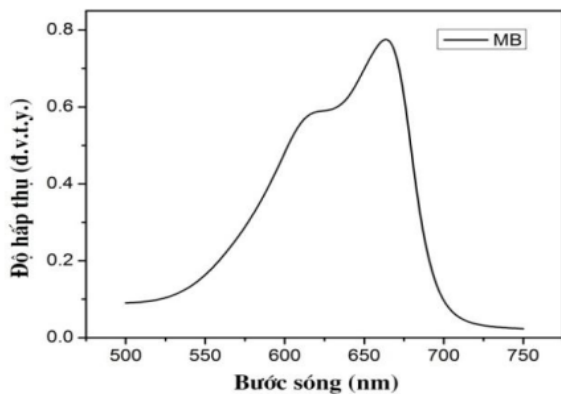
nhất, sau 90 phút chiếu sáng hàm lượng phenol giảm còn 3,02%.



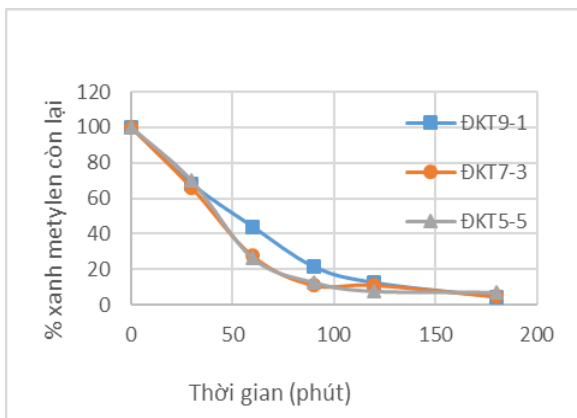
Hình 7: Hàm lượng phenol còn lại theo thời gian

Phản ứng quang xúc tác phân hủy xanh metylen

Vật liệu ghép TiO₂-ZrO₂ với hàm lượng khác nhau đã được thử khả năng xúc tác quang cho phản ứng phân hủy xanh metylen dưới ánh sáng đèn sợi đốt. Hàm lượng MB còn lại trong dung dịch được xác định bằng phổ UV-Vis (hình 8). Kết quả được trình bày dưới hình 9



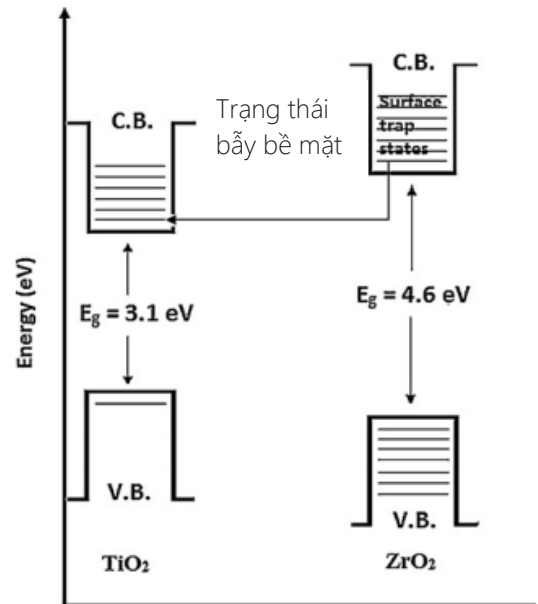
Hình 8: Phổ hấp thụ UV-Vis của xanh metylen tại thời điểm ban đầu t=0



Hình 9: Hàm lượng MB còn lại theo thời gian

Hình 9 cho thấy, hầu hết các mẫu vật liệu nano composit TiO₂-ZrO₂ đều có khả năng xúc tác quang tốt cho phản ứng phân hủy xanh metylen với hiệu suất phân hủy > 90%. Mẫu ĐKT9-1 có khả năng xúc tác tốt nhất, sau 180 phút chiếu sáng lượng xanh metylen bị phân hủy là trên 95%, cao hơn so với kết quả công bố trong tài liệu [4, 5]. Theo [7], sau 4 giờ chiếu sáng hàm lượng MB còn lại khi sử dụng xúc tác TiO₂ và ZrO₂ tinh khiết đều khoảng 89%. Do vậy các mẫu vật liệu nano composit TiO₂-ZrO₂ đều có khả năng xúc tác quang tốt hơn so với các vật liệu oxit riêng lẻ.

Như vậy ZrO₂ và TiO₂ tạo ra một hệ ghép mới TiO₂-ZrO₂ làm nâng cao tính chất quang xúc tác của vật liệu. Điều này có thể được giải thích do: (i) các hạt ZrO₂ được phân tán vào TiO₂ đã ức chế quá trình tái tổ hợp lỗ trống và electron tự do, (ii) ZrO₂ có năng lượng vùng cấm cao, khi tạo thành hệ ghép với TiO₂ tại vùng ranh giới sẽ có năng lượng vùng cấm nhỏ (hình 10) trong trường hợp này các điện tử tự do của cả ZrO₂ và TiO₂ đều bị giới hạn trong vùng năng lượng của TiO₂. Mặt khác quá trình tổng hợp đã tạo ra liên kết Ti-O-Zr cũng làm tăng hoạt tính xúc tác [3,4].



Hình 10: Giản đồ mức năng lượng của quá trình chuyển electron giữa TiO₂ và ZrO₂ trong vật liệu ghép TiO₂-ZrO₂

Kết luận

Từ ZrOCl₂.8H₂O và TiCl₄ trong dung môi propanol, bằng phương pháp đồng kết tủa đã tổng hợp được vật liệu nano composit TiO₂-ZrO₂ với các tỉ lệ mol tương ứng về thành phần TiO₂-ZrO₂: 90-10, 80-20, 70-30, 60-40, 50-50. Vật liệu thu được có 3 pha anasta,

monoclinic, tetragonal, hạt dạng hình cầu, kích thước 16±21 nm.

- Vật liệu tổng hợp được có khả năng xúc tác cho phản ứng phân hủy phenol và xanh metylen dưới ánh sáng đèn sợi đốt 100 W ($\lambda = 450-750$ nm). Trong đó 2 vật liệu có hoạt tính xúc tác tốt là ĐKT8-2 (phân hủy 97% phenol sau 30 phút) và ĐKT9-1 (phân hủy 95% MB trong 180 phút). Kết quả nghiên cứu cho thấy vật liệu nanocomposit TiO_2-ZrO_2 tổng hợp được có khả năng xử lý các chất hữu cơ độc hại gây ô nhiễm môi trường nước.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi trường Đại học Sư phạm Hà Nội trong đề tài mã số SPHN19-05

Tài liệu tham khảo

1. Laxmi J. Tomar, B. S. Chakrabarty. *Adv. Mat. Lett.*, 4 (2013) 64–67. <https://doi.org/10.5185/amlett.2013.icnano.257>
2. Ayca Kambur, Gulin Selda Pozan, Ismail Boz. *Applied Catalysis B: Environmental* 115–116 (2012) 149–158. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2011.12.012>
3. Dr. Benjaram M. Reddy & Ataulah Khan. *Catalysis Reviews*, 47 (2005) 257–296. <https://doi.org/10.1081/CR-200057488>
4. Ali İmran Vaizogullar, Ahmet Balci, Mehmet Ugurlu, Muhammet Hamdi Karaoglu. *AKU J. Sci. Eng.*, 16 (2016) 54–60. <https://doi.org/10.5578/fmbd.25229>
5. Nguyễn Thị Tuyết Mai, Nguyễn Kim Ngà, Tạ Ngọc Dũng, Huỳnh Đăng Chính. Khảo sát ảnh hưởng của nồng độ chất pha tạp Ni^{2+} đến các đặc tính bột nano TiO_2 điều chế theo phương pháp thủy nhiệt. *Tạp chí Hóa học*, 54 (2016) 177–180.
6. Bùi Đức Thuần, Lê Thị Hồng Hải. *Tạp chí Hóa học*, 47 (2009) 555–559.
7. Nguyen Minh Thuy, Duong Quoc Van, Le Thi Hong Hai. *Nanomaterials and Nanotechnology* 2 (2012) 14. <https://doi.org/10.5772/55318>
8. Hassan Koohestani, Mona Alinezhad, Seyyed Khatiboleslam Sadrnezhad. (2015). <https://doi.org/10.22075/ancr.2015.231>
9. Magesan.P, K.T.Dhanalekshmi. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 119 (2018) 6449–6468. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2007.05.005>
10. Nguyễn Tiến Bình, Ngô Kim Chi, Phạm Thị Minh Thảo, Lê Thị Hồng Hải. Điều chế và ứng dụng nano V/TiO_2 để xử lý phenol trong nước thải dệt nhuộm. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ*, 50 (2012) 17–22.