

NGHIÊN CỨU TỔNG HỢP XÚC TÁC ZnO-CeO₂ PHÂN HỦY BISPHENOL A TRONG NƯỚC

RESEARCH ON SYNTHESIS ZnO-CeO₂ CATALYST TO TREAT BISPHENOL A IN WATER

Nguyễn Minh Việt^{1*}, Nguyễn Thế Hữu¹, Đặng Hữu Trung¹,
Nguyễn Văn Mạnh¹, Trịnh Thị Hải¹, Nguyễn Đình Long¹, Vũ Anh Tuấn²

TÓM TẮT

Bài báo này nghiên cứu tổng hợp xúc tác ZnO-CeO₂ bằng phương pháp thủy nhiệt ở 90°C, 24 giờ, sau khi lọc, rửa, sấy và nung ở 400°C, thực hiện phản ứng quang hóa xử lý bisphenol A (BPA) trong nước. Xúc tác ZnO-CeO₂ được đánh giá đặc trưng xác định hình thái, cấu trúc, kích thước và bề mặt vật liệu bằng các phương pháp vật lý DTA-TG, BET, SEM, XRD, cho thấy các hạt nano ZnO-CeO₂ hình thành tương đối đồng nhất, xốp, rõ ràng với kích thước khoảng 20 ÷ 40nm, diện tích bề mặt riêng khoảng 48,72m²/g. Xúc tác ZnO-CeO₂ được đánh giá khả năng quang xúc tác với phân hủy xanh methylen dưới ánh sáng đèn UV 40W và ánh sáng mặt trời. Xúc tác quang hóa ZnO-CeO₂ sử dụng phân hủy nước nhiễm bisphenol A, cho thấy xúc tác ZnO-CeO₂ có khả năng phân hủy bisphenol A sau 100 phút hiệu suất đạt 64%.

Từ khóa: Xúc tác ZnO-CeO₂, bisphenol A, ánh sáng mặt trời.

ABSTRACT

This paper studied the synthesis of ZnO-CeO₂ catalyst by hydrothermal method at 90°C and 24h. The sample after hydrothermal was filtered, washed, dried, and calcined at 400°C, then used for treating bisphenol A (BPA) in the aqueous medium. The synthesized samples were characterized by physical methods such as DTA-TG, BET, SEM, and XRD to determine morphology, structure, size, and surface area. The analysis results showed that the ZnO-CeO₂ nanoparticles are formed relatively homogeneously, with a porous structure at the pore size of about 20 ÷ 40nm, the specific surface area was about 48.72m²/g. The ZnO-CeO₂ catalyst showed the high ability in photodegradation of methylene blue under UV 40W light and sunlight, exhibiting a high removal efficiency of BPA, the adsorption and degradation of up to 64% in 100 min.

Keywords: ZnO-CeO₂ catalyst bisphenol A, sunlight.

¹Khoa Công nghệ Hóa, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

²Viện Kỹ thuật Hóa học, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

*Email: minhviet@hau.edu.vn

Ngày nhận bài: 26/12/2021

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 20/02/2022

Ngày chấp nhận đăng: 29/8/2022

1. GIỚI THIỆU

Nước có vai trò vô cùng quan trọng đối với đời sống sinh hoạt của con người, duy trì mọi hoạt động sống cũng như sản xuất, cung cấp vào hoạt động đảm bảo an ninh lương thực cho xã hội: Nước tưới tiêu, làm ruộng... Nước giúp cho mọi sinh hoạt của con người như tắm, giặt, rửa,

nấu, nướng... đảm bảo được chất lượng cuộc sống của mỗi con người và sức khỏe. Ngoài ra, nước tạo ra năng lượng điện để cung cấp cho hoạt động của nền kinh tế thông qua việc sử dụng động lực hay năng lượng dòng chảy của các con sông làm quay các tuốc bin nước và máy phát điện, đây là nguồn năng lượng sạch và chiếm 20% lượng điện của thế giới, đồng thời nước tham gia phần lớn vào việc sản xuất trong các công nghiệp. Do đó, việc bảo vệ và làm giảm ô nhiễm nguồn nước có ý nghĩa quan trọng trong việc bảo vệ ô nhiễm môi trường... Tuy nhiên, nguồn nước mặt và nước ngầm phục vụ cho sinh hoạt hàng ngày của người dân đang ngày càng bị ô nhiễm nặng nề do các chất xả thải, rác thải, nước thải từ công nghiệp chế biến, sản xuất... Các hợp chất hữu cơ có trong nước là một trong những nguyên nhân chủ yếu gây ô nhiễm nguồn nước. Trong đó bisphenol A được tìm thấy trong nước tự nhiên có thể do nước thải công nghiệp từ các nhà máy tổng hợp nhựa hoặc bisphenol A bị thôi nhiễm từ các chai nhựa có chứa bisphenol A ngâm trong nước, bisphenol A có ảnh hưởng sức khỏe như những thay đổi trong chức năng miễn dịch, rối loạn tim mạch, ung thư, và vô sinh, ngoài ra bisphenol A rất nguy hiểm trong hệ sinh thái thủy sinh. Hiện nay có rất nhiều phương pháp để xử lý các chất hữu cơ trong nước thải. Trong số các phương pháp gần đây được nghiên cứu sử dụng rất nhiều là phương pháp quang hóa xử lý chất hữu cơ trên xúc tác quang. Có rất nhiều xúc tác quang để xử lý các hợp chất hữu cơ trong nước, trong đó có xúc tác ZnO, nhưng có nhược điểm là sự tái kết hợp nhanh electron và lỗ trống quang sinh làm giảm hiệu quả quang xúc tác. Ngoài ra, ZnO có năng lượng vùng cấm rộng (3,27eV), vùng năng lượng cho hiệu quả quang xúc tác tốt nhất dưới ánh sáng cực tím, trong khi ánh sáng mặt trời chỉ có khoảng 5% bức xạ UV. Do đó, ZnO thể hiện hoạt tính quang xúc tác thấp dưới ánh sáng mặt trời. Nhằm cải thiện hoạt tính quang xúc tác của ZnO dưới ánh sáng khả kiến cũng như ánh sáng mặt trời và giảm tốc độ tái kết hợp electron, lỗ trống quang sinh, cần thiết phải biến đổi tính chất electron trong cấu trúc nano của ZnO và thu hẹp năng lượng vùng cấm của nó. Có nhiều nghiên cứu đã được tiến hành pha tạp kim loại hoặc phi kim vào mạng ZnO là một trong những phương pháp hiệu quả để giảm tốc độ tái kết hợp electron và lỗ trống quang sinh, mở rộng bước sóng hấp thụ sang vùng ánh sáng khả kiến thông qua việc biến đổi

cấu trúc electron bề mặt và làm tăng hiệu quả quang xúc tác của ZnO. Trong đó, pha tạp kim loại chuyển tiếp là một trong những phương pháp hiệu quả làm biến đổi tính chất quang và thiện hoạt tính quang xúc tác của ZnO là xeri. Xeri là một nguyên tố tiềm năng cho sử dụng pha tạp vào ZnO. Mặc dù, bán kính ion của cả Ce^{3+} và Ce^{4+} đều lớn hơn nhiều so với ion Zn^{2+} , nhưng ion xeri vẫn xâm nhập vào mạng ZnO bằng cách chiếm các lỗ hổng khuyết tật và tăng hoạt tính quang xúc tác của ZnO. Sự pha tạp xeri vào ZnO làm cho kích thước tinh thể, kích thước hạt giảm và tăng diện tích bề mặt. Ngoài ra, sự pha tạp Ce còn làm dịch chuyển bờ hấp thụ ánh sáng của ZnO sang vùng ánh sáng nhìn thấy. Vì thế, trong bài này chúng tôi đi nghiên cứu tổng hợp và sử dụng xúc tác ZnO-CeO₂ ứng dụng xử lý Bisphenol A trong nước thải ra môi trường sông, xúc tác ZnO-CeO₂ thích hợp cho việc xử lý các hợp chất hữu cơ khác trong nước dưới ánh sáng.

2. THỰC NGHIỆM

2.1. Hóa chất và thiết bị

Hóa chất: Các hóa chất sử dụng trong nghiên cứu: Zn(NO₃)₂.6H₂O tinh thể, Ce(NO₃)₃. 6H₂O tinh thể, Ure (NH₂)₂CO tinh thể, C₁₆H₁₈N₃SCI (MB), bisphenol A.

Thiết bị: Xác định cấu trúc, hình thái, trạng thái pha bề mặt riêng của vật liệu xúc tác được đo trên các thiết bị phân tích nhiệt TGA-DSC Linesis STA PT1600 (Đức) tại Phòng thí nghiệm phân tích và ứng dụng, Khoa Công nghệ Hóa, Trường đại học Công nghiệp Hà Nội, phân tích bề mặt bằng hiển vi điện tử quét (SEM) trên thiết bị SU3800 hãng Hitachi (Nhật Bản) tại Bộ môn Vật liệu, Khoa Cơ khí, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội và thiết bị S-4800 hãng Hitachi tại Viện Vật lí, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam. Xác định cấu trúc, pha và nhận dạng thành phần trên thiết bị nhiễu xạ tia Rơnghen trên thiết bị D8 Advance của hãng Bruker (Đức), với bước sóng $\lambda = 0,15406\text{nm}$, tại Khoa Hóa - Đại học Khoa học tự nhiên - Đại học Quốc gia Hà Nội. Xác định bề mặt riêng của vật liệu xúc tác theo phương pháp hấp phụ được thực hiện trên máy Tristar II Plus hãng Micromeritics tại Viện Hóa học, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

2.2. Phương pháp tổng hợp xúc tác

Lấy Zn(NO₃)₂.6H₂O và Ce(NO₃)₃.6H₂O (theo tỷ lệ mol nghiên cứu) vào cốc chứa 100ml cho nước cất, thêm 1,8g (NH₄)₂CO vào cốc chứa dung dịch khuấy khoảng 30 phút. Chuyển hỗn hợp dung dịch vào bình thủy nhiệt tiến hành phản ứng ở 90°C trong 24h. Sau khi thực hiện phản ứng thủy nhiệt làm lạnh dung dịch tới nhiệt độ phòng, lọc và rửa sản phẩm bằng nước cất và rượu ethanol. Sấy sản phẩm ở 90°C trong 24h và cho sản phẩm vào chén sứ nung ở 400°C trong 3h tốc độ ra nhiệt 2°C/1 phút, kết quả thu được xúc tác ZnO-CeO₂ dạng bột mịn màu vàng

Sau khi điều chế xúc tác ZnO-CeO₂, xúc tác được đánh giá bằng các phương pháp vật lý DTA-TG, BET; SEM; XRD.

2.3. Phương pháp đánh giá hoạt tính của xúc tác

- Đánh giá phân hủy xanh methylen (MB) trên xúc tác quang ZnO-CeO₂ dưới ánh sáng đèn UV 40W

Lấy 0,1g xúc tác ZnO-CeO₂ vào cốc 250ml có chứa 100ml dung dịch xanh metylen với nồng độ 10ppm, khuấy dung dịch liên tục trong bóng tối 30 phút để đạt cân bằng hấp phụ - giải hấp. Sau đó chiếu sáng dưới ánh sáng đèn UV 40W để thực hiện phản ứng quang hóa MB trên xúc tác ZnO-CeO₂. Sau khi phản ứng quang hóa MB trên xúc tác mẫu được ly tâm và lọc để tách hết bột xúc tác. Phần dung dịch sau khi lọc xúc tác được xác định đo mật độ quang bằng máy quang phổ UV-Vis (UViline 9400) ở bước sóng $\lambda = 665\text{nm}$. Quá trình thực hiện quang hóa phản ứng MB trên xúc tác quang ZnO-CeO₂ được khảo sát với:

+ Thời gian phản ứng quang hóa thực hiện định kỳ 20 phút lấy mẫu 1 lần đi đánh giá hiệu suất quang hóa

+ Nồng độ MB phản ứng quang hóa: thực nghiệm được khảo sát với nồng độ 5ppm, 10ppm, 15ppm, 20ppm trong thời gian 100 phút.

+ Khảo sát lượng xúc tác ZnO-CeO₂ với lượng xúc tác từ 0,5g/L đến 2,5g/L

Sơ đồ nghiên cứu phản ứng quang hóa phân hủy MB trên xúc tác ZnO-CeO₂ như hình 1.



Hình 1. Thiết bị thí nghiệm phản ứng quang trên ZnO-CeO₂

- Đánh giá phân hủy xanh methylen trên xúc tác quang ZnO-CeO₂ dưới ánh sáng mặt trời

Hoạt tính xúc tác quang của vật liệu ZnO-CeO₂ được đánh giá bằng sự phân hủy quang hóa xanh methylene (MB) thay ánh sáng đèn UV bằng sử dụng nguồn ánh sáng mặt trời vào khung giờ từ 11 - 14h để làm nguồn sáng khả kiến, các bước nghiên cứu đánh giá hoạt tính của xúc tác ZnO-CeO₂ cũng tương tự như đánh giá hoạt tính của xúc tác ZnO-CeO₂ dưới đèn UV40W

Sau khi đánh giá hoạt tính của xúc tác ZnO-CeO₂ với MB tìm được điều kiện thích hợp của xúc tác quang hóa, thực hiện ứng dụng xử lý BPA trong nước trên xúc tác ZnO-CeO₂ dưới ánh sáng mặt trời.

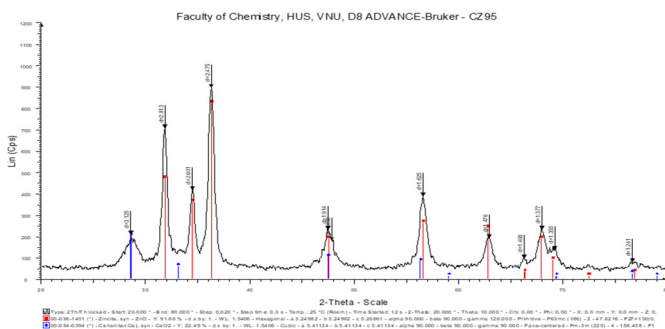
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1 Kết quả phân tích đánh giá xúc tác ZnO-CeO₂

Trong nghiên cứu chúng tôi đã tổng hợp và khảo sát các mẫu vật liệu xúc tác quang như ZnO nguyên chất, ZnO-CeO₂ với tỷ lệ mol khác nhau. Trong khuôn khổ bài báo này đã nghiên cứu và khảo sát đánh giá xúc tác quang ZnO-CeO₂ với hàm lượng khối lượng CeO₂ là 5% để xử lý BPA trong nước cũng là một chất đại diện cho hợp chất hữu cơ có trong nước. Kết quả mẫu xúc tác sau khi tổng hợp thu được như hình 2.



Hình 2. Mẫu xúc tác ZnO-CeO₂

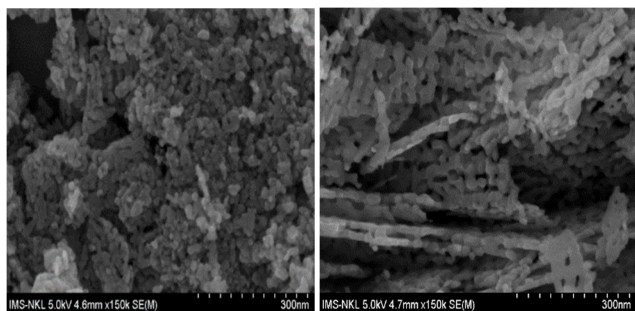


Hình 3. Phổ XRD của mẫu ZnO-CeO₂

- Kết quả phổ XRD của xúc tác ZnO-CeO₂

Qua hình 3 phổ XRD của mẫu ZnO-CeO₂ ta thấy có xuất hiện của những peak đặc trưng của CeO₂ và ZnO ở góc tán xạ (2θ) lần lượt là 28,52 với CeO₂, 36,28 với ZnO, do đó xúc tác ZnO-CeO₂ tạo thành hỗn hợp của oxit ZnO và CeO₂, ngoài ra không thấy sự xuất hiện của các nguyên tố lạ, chứng tỏ vật liệu ZnO-CeO₂ tổng hợp được có độ tinh khiết cao.

- Kết quả đo ảnh SEM của xúc tác ZnO-CeO₂



Hình 4. Ảnh SEM của xúc tác ZnO-CeO₂

Qua ảnh SEM của xúc tác CeO₂-ZnO (hình 4) cho thấy các hạt ZnO-CeO₂ có hình tựa cầu, phân lớp khá đồng đều, tuy nhiên các hạt kết tập với nhau. Bề mặt vật liệu tương đối xốp, với kích thước khoảng 20nm đến 40nm.

- Kết quả đo BET của mẫu xúc tác ZnO-CeO₂

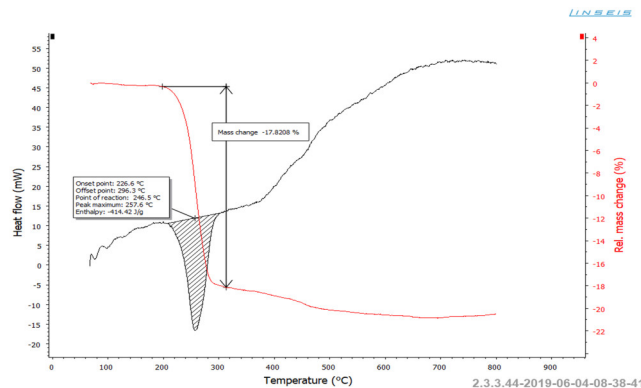
Diện tích bề mặt riêng của vật liệu xúc tác CeO₂-ZnO được xác định bằng phương pháp BET kết quả thể hiện ở bảng 1.

Bảng 1. Kết quả diện tích bề mặt riêng của các mẫu vật liệu ZnO-CeO₂

Tên mẫu	S _{BET} (m ² /g)	V _{pore} (cm ³ /g)	D _{pore} (nm)
ZnO-CeO ₂	48,72	0,026	2,383

Kết quả đo BET ở điều kiện 200°C trong 6 giờ cho thấy diện tích bề mặt riêng, thể tích mao quản và đường kính mao quản trung bình của vật liệu ZnO-CeO₂ có diện tích bề mặt riêng là 48,72m²/g, đường kính mao quản trung bình là 2,383nm, thể tích mao quản là 0,026cm³/g.

- Kết quả phân tích nhiệt (DTA-TG) của xúc tác ZnO-CeO₂



Hình 5. Kết quả phân tích nhiệt của mẫu ZnO-CeO₂

Hình 5 là kết quả phân tích nhiệt mẫu xúc tác ZnO-CeO₂ cho thấy, trong khoảng nhiệt độ từ 60°C đến 226°C không thấy có sự chuyển đổi về khối lượng cũng như hiệu ứng nhiệt. Trong khoảng nhiệt độ từ 226°C đến 296°C bắt đầu thấy có sự giảm mạnh khối lượng với sự giảm 17,82% khối lượng tương ứng với một pic thu nhiệt ở 246,5°C do sự phân hủy của sản phẩm trung gian Zn₄(CO₃)(OH)₆.H₂O thành ZnO, tại nhiệt độ này xúc tác biến đổi khối lượng nhiều nhất. Từ 300°C đến khoảng 400°C sự giảm khối lượng diễn ra rất ít và trên 400°C đường TG hầu như nằm ngang chứng tỏ phản ứng nhiệt phân kết thúc.

Từ kết quả này có thể thấy mẫu xúc tác ZnO-CeO₂ cần được nung ở nhiệt độ 400°C thì xúc tác được ổn định.

3.2. Kết quả đánh giá phân hủy MB trên ZnO-CeO₂ dưới đèn UV

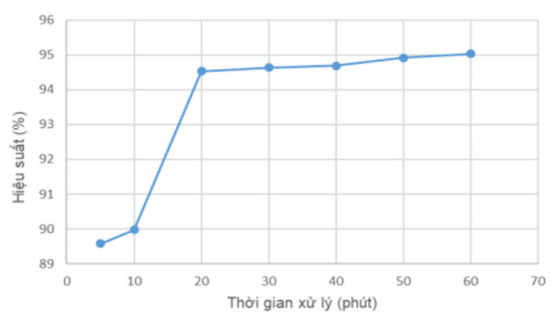
Các mẫu xúc tác ZnO-CeO₂ với hàm lượng khối lượng CeO₂ là 5% được thử nghiệm xanh methylen có nồng độ 10ppm trong 100ml dung dịch, phản ứng quang hóa trong điều kiện môi trường pH = 8, kết quả hiệu suất phân hủy MB như trong bảng 2 và hình 6.

Bảng 2. Kết quả ảnh hưởng thời gian đến phân hủy dưới ánh sáng đèn UV

Thời gian (phút)	Mật độ quang (A)	Hiệu suất (%)
5	0,176	89,58
10	0,169	89,97
20	0,087	94,53
30	0,085	94,64
40	0,084	94,69
50	0,08	94,92
60	0,078	95,03

Từ kết quả nghiên cứu cho thấy khi tăng thời gian phản ứng quang hóa thì hiệu suất phân hủy MB tăng, sau 30 phút gần như MB đã bị phân hủy hoàn toàn dưới xúc tác

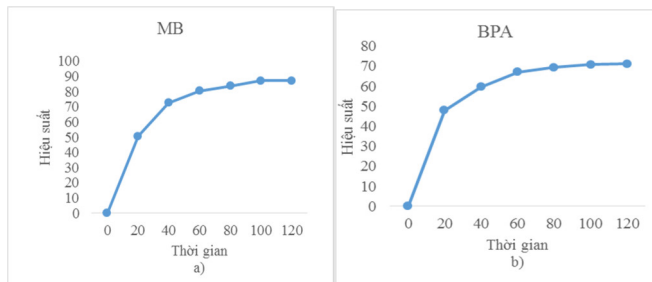
quang hóa ZnO-CeO₂, sau 60 phút hiệu suất phân hủy MB gần như hoàn toàn đạt 95%.



Hình 6. Đồ thị phân hủy MB trên xúc tác ZnO-CeO₂

3.3. Kết quả đánh giá phân hủy MB trên xúc tác ZnO-CeO₂ dưới ánh sáng ngoài trời

Mẫu xúc tác ZnO-CeO₂ với hàm lượng khối lượng CeO₂ là 5% được thử nghiệm phân hủy MB với nồng độ MB là 10pp trong 100ml dung dịch, phản ứng quang hóa trong điều kiện môi trường pH = 8 với thời gian quang hóa khác nhau cho các kết quả hiệu suất xử lý như trong hình 7.



Hình 7. Đồ thị phân hủy MB, BPA trên xúc tác ZnO-CeO₂ theo thời gian dưới ánh sáng

Từ kết quả hình 7 cho thấy, thời gian phân hủy MB dưới ánh sáng mặt trời từ 30 phút đến 60 phút quá trình phân hủy MB xảy ra với tốc độ nhanh, màu của dung MB cũng mất dần đến trắng, trên 80 phút hiệu suất phân hủy xanh metylen của ZnO-CeO₂ dưới ánh sáng mặt trời gần như phân hủy hoàn toàn đạt trên 87%.

3.4. Kết quả phân hủy BPA trên xúc tác ZnO-CeO₂ dưới ánh sáng ngoài trời

Mẫu xúc tác ZnO-CeO₂ với hàm lượng khối lượng CeO₂ là 5% được thử nghiệm trên mẫu thử BPA có nồng độ BPA 10ppm trong 100ml dung dịch, phản ứng quang hóa trong điều kiện môi trường pH = 8, kết quả phân hủy BPA dưới xúc tác ZnO-CeO₂ được thể hiện như bảng 3 và hình 17 b

Bảng 3. Kết quả phân hủy BPA trên xúc tác ZnO-CeO₂ dưới ánh sáng ngoài trời

Thời gian (phút)	20	40	60	80	100	120
Nồng độ (C)	4,73	4,04	3,30	3,06	2,92	2,90
Hiệu suất (%)	47,94	59,62	67,00	69,38	70,81	71,05

Qua hình 7b cho thấy, xúc tác quang ZnO-CeO₂ có thể xử lý phân hủy BPA trong nước, sau 120 phút hiệu suất xử lý BPA trên xúc tác quang ZnO-CeO₂ ở ngoài trời hiệu suất phân hủy đạt 71,05%.

Vậy xúc tác quang ZnO-CeO₂ có thể sử dụng làm xúc tác quang cho quá trình xử lý các chất hữu cơ trong nước.

4. KẾT LUẬN

Bài báo này đã nghiên cứu tổng hợp xúc tác quang ZnO-CeO₂ với hàm lượng CeO₂ là 5% khối lượng bằng phương pháp thủy nhiệt, ở nhiệt độ 90°C trong 24 giờ trong phòng thí nghiệm, sau khi sấy và nung ở nhiệt độ 400°C thu được xúc tác ZnO-CeO₂ có độ tinh khiết cao, bề mặt vật liệu tương đối xốp, với kích thước khoảng 20 ÷ 40nm, diện tích bề mặt riêng khoảng 48,72m²/g.

Tiến hành đánh giá hoạt tính xúc tác quang hóa của vật liệu ZnO-CeO₂ với phân hủy xanh methylen sau 80 phút dưới ánh sáng ngoài trời gần như phân hủy hoàn (đạt > 87%).

Xúc tác ZnO-CeO₂ với hàm lượng CeO₂ là 5% khối lượng tiến hành phân hủy BPA trong nước, sau 120 phút thực hiện phản ứng ở ngoài trời hiệu suất phân hủy đạt 71%. Vậy xúc tác quang ZnO-CeO₂ có thể sử dụng làm xúc tác quang để xử lý các chất hữu cơ trong nước.

LỜI CẢM ƠN

Tác giả chân thành cảm ơn Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội đã hỗ trợ kinh phí thông qua đề tài nghiên cứu khoa học cấp trường mã số 18-2020-RD/HĐ-ĐHCN.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Thị Tố Loan, N.T.V.A., 2013. *Nghiên cứu tổng hợp oxit nano ZnO có pha tạp Ce bằng phương pháp đốt cháy gel*. Tạp chí Hóa học, 51(6), 734-738
- [2]. Chen C.S., et al., 2012. *Multi-walled carbon nanotube-supported metal-doped ZnO nanoparticles and their photocatalytic property*. Journal of Nanoparticle Research, 15(1), 1295- 1302.
- [3]. M.M. Khan, S.A.A., D. Pradhan, D.H. Han, J. Lee, M.H. Cho, 2014. *Defect-induced band gap narrowed CeO₂ nanostructures for visible light activities*. Ind. Eng. Chem. Res, 53: 9754– 9763.
- [4]. L.K. Adam, D.Y. Lyon, P.J. Alvarz, 2006. *Comparative eco-toxicity of nanoscale TiO₂, SiO₂, and ZnO water suspension*. Water research 40, 3527-3532.
- [5]. Yan H, H.J., Fu Z, Yang B, Yang P, Liu K, et al, 2009. *Growth and photocatalytic properties of one-dimensional ZnO nanostructures prepared by thermal evaporation*. Mater ResBull, 1954 - 1958.
- [6]. Moshfegh A.Z., 2009. *Nanoparticle catalysts*. J. Phys. D. Appl. Phys, 42, 233001-233030.
- [7]. Suib S.L., 2013. *New and Future Developments in Catalysis: Catalysis by Nanoparticles*. Amsterdam: Elsevier.
- [8]. S.M. Lam, J.C.S., A.Z. Abdullah, A.R. Mohamed, 2012. *Degradation of wastewaters containing organic dyes photocatalysed by zinc oxide: a review*. Desalin. Water Treat, 41, 131–169.

AUTHORS INFORMATION

Nguyen Minh Viet¹, Nguyen The Huu¹, Dang Huu Trung¹, Nguyen Van Manh¹, Trinh Thi Hai¹, Nguyen Dinh Long¹, Vu Anh Tuan²

¹Faculty of Chemical Technology, Hanoi University of Industry

²School of Chemical Engineering, Hanoi University of Science and Technology