



## Ảnh hưởng của tỉ lệ ZnO : ZrO<sub>2</sub> đến khả năng quang xúc tác phân hủy phenol trong vật liệu nanocomposite ZnO-ZrO<sub>2</sub>

### Effect of the ratio ZnO : ZrO<sub>2</sub> on the photocatalytic ability of phenol degradation in ZnO-ZrO<sub>2</sub> nanocomposite materials

Phạm Thị Minh Thảo\*, Đỗ Thị Hương, Lê Thị Hồng Hải

Trường Đại học Sư phạm Hà Nội  
 136 Xuân Thủy – Cầu Giấy – Hà Nội  
 \*Email: minhthao.hnue@gmail.com

Hội thảo "Khoa học và Công nghệ Hóa vô cơ lần thứ V" - Hà Nội 2021

#### ARTICLE INFO

Received: 15/2/2021

Accepted: 10/6/2021

Published: 30/6/2021

#### Keywords:

ZnO, ZrO<sub>2</sub>, photocatalytic activity, phenol, degradation

#### ABSTRACT

The ZnO-ZrO<sub>2</sub> nanocomposite materials in the molar ratio (1:0; 1:1; 1:2; 2:1; 3:4; 4:3; 0:1) were prepared by a two-stage precipitation method with ultrasonic vibrations. The obtained ZnO-ZrO<sub>2</sub> materials were characterized by XRD, SEM, UV-vis. XRD data identified phase of the ZnO and phase of ZrO<sub>2</sub> in all obtained samples. The average crystallite size of the samples was between 18 to 30 nm. As UV-Vis spectra, the band gap of ZnO-ZrO<sub>2</sub> composite (ZZ34R) is 3,06eV. The photocatalytic reactions confirmed that the nanocomposite sample showed higher photocatalytic activity than the pure oxides samples for the degradation phenol under 100W incandescent lamp. Among the prepared samples, the best sample for photocatalytic degradation of phenol is the ZZ34R which the molar ratio ZnO:ZrO<sub>2</sub> = 3:4 with 23% remaining phenol content after 300 minutes. The photodegradation phenol of sample with ultrasonic vibrations is higher than the sample without ultrasonic vibrations. This indicates that the materials are capable of treating phenol in wastewater.

#### Giới thiệu chung

ZrO<sub>2</sub> là oxit axit đang được quan tâm chú ý nhờ ứng dụng trong các phản ứng xúc tác quang dị thể khác nhau. Tuy nhiên, ZrO<sub>2</sub> cũng là một chất bán dẫn loại n với năng lượng vùng cấm E<sub>g</sub> lớn từ 5,0 – 5,5eV. Do đó để tạo ra các cặp electron – lỗ trống ZrO<sub>2</sub> cần được kích thích bằng tia UV-C có bước sóng λ < 280 nm. Để khắc phục nhược điểm này, một số nghiên cứu đã pha tạp ZrO<sub>2</sub> với các kim loại chuyển tiếp khác nhau hoặc

kết hợp ZrO<sub>2</sub> với các oxit kim loại có sự khác biệt về giới hạn vùng năng lượng. Vật liệu nanocomposit được tạo bởi 2 oxit đang được thu hút trong nhiều nghiên cứu khác nhau do tạo ra vật liệu mới với đặc điểm hóa lý cải thiện hơn so với các oxit tinh khiết ban đầu, tạo ra mức năng lượng khuyết tật trong vùng cấm, làm thay đổi đặc tính bề mặt của các oxit riêng lẻ do tạo thành các vị trí mới tại bề mặt chuyển tiếp của các oxit tinh khiết và đồng thời làm ổn định pha tinh thể có hoạt tính quang xúc tác [1,2,3]

Một số oxit bán dẫn đã được nghiên cứu kết hợp với  $ZrO_2$  như  $SiO_2$ ,  $TiO_2$ ,  $ZnO$ ,  $WO_3$ ,  $NiO$  để làm tăng hoạt tính xúc tác quang của  $ZrO_2$ . Cùng với  $TiO_2$ ,  $ZnO$  là chất bán dẫn loại n được nghiên cứu nhiều nhất do giá thành rẻ, dễ tổng hợp, dải rộng vùng cấm hẹp hơn và có khả năng xúc tác quang phân hủy một số chất hữu cơ ô nhiễm thành sản phẩm ít độc hại hơn. Độ rộng vùng cấm của  $ZnO$  ~ 3,37 eV và năng lượng liên kết khoảng 60 meV. [1,2,3]

Gần đây, vật liệu nanocomposite  $ZnO-ZrO_2$  đang được chú ý nghiên cứu nhiều do hoạt tính xúc tác quang phân hủy chất hữu cơ ô nhiễm tốt hơn các hệ oxit riêng rẽ. Sự kết hợp giữa  $ZnO$  và  $ZrO_2$  đã tạo ra vật liệu mới làm thay đổi cấu trúc, tính chất 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. Khi bị kích thích, electron của cả hai chất bán dẫn  $ZnO$  và  $ZrO_2$  đều bị chuyển đến vùng dẫn thấp của một chất bán dẫn, trong khi các lỗ trống di chuyển đến vùng hóa trị. Điều này làm giảm tốc độ tái hợp các cặp electron-lỗ trống và có thể xảy ra với năng lượng thấp hơn  $E_g$  của một trong 2 oxit.

Mahwish Bashir và các cộng sự đã tổng hợp vật liệu nanocomposit  $ZnO-ZrO_2$  bằng phương pháp sol-gel với tỉ lệ  $ZnO$  thay đổi từ 1%-5% trong môi trường axit pH = 2 và bazơ pH = 9. Kết quả cho thấy sự ảnh hưởng của pH đến kích thước và pha tinh thể của vật liệu, sự pha tạp  $ZnO$  làm giảm năng lượng vùng cấm của  $ZrO_2$  khi không pha tạp [4]

Theo tài liệu [3], Shokufeh Aghabeygi và Mostafa Khademi Shamami đã tổng hợp vật liệu nanocomposit  $ZnO-ZrO_2$  bằng phương pháp sol-gel kết hợp rung siêu âm với tỉ lệ mol  $ZnO:ZrO_2$  thay đổi 1:1, 1:2, 2:1 (kí hiệu tương ứng ZZ3, ZZ1, ZZ2), hoạt tính quang xúc tác của sản phẩm được đánh giá qua phản ứng phân hủy đỏ Congo dưới ánh sáng đèn UV trong 2 giờ. Kết quả cho thấy kích thước tinh thể, năng lượng vùng cấm và hoạt tính quang xúc tác của vật liệu nanocomposit tương ứng theo trật tự  $ZZ1 > ZZ2 > ZZ3$ ,  $ZZ3 > ZZ1 > ZZ2$  và  $ZZ2 > ZZ3 > ZZ1$ . Theo đó, kích thước hạt, năng lượng vùng cấm và tỉ lệ thành phần của vật liệu nanocomposit  $ZnO-ZrO_2$  là những yếu tố quan trọng quyết định hoạt tính quang xúc tác của hệ này. Mẫu ZZ2 có năng lượng vùng cấm nhỏ nhất 4,31eV và kích thước hạt trung bình 29,5nm có hoạt tính xúc tác tốt nhất, sau 2 giờ chiếu tia UV 90% đỏ congo bị phân hủy. Theo [1], M. C. Uribe López cùng các cộng sự tổng hợp vật liệu nanocomposit  $ZnO-ZrO_2$  bằng phương pháp sol-gel từ kẽm acetylacetonat với hàm lượng  $ZnO$  (13, 25, 50 và 75% số mol). Các mẫu thu

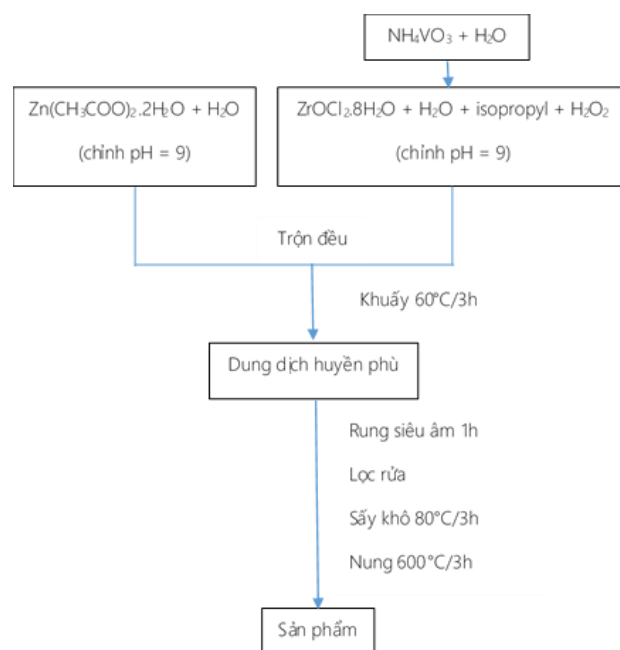
được có sự hình thành pha tứ diện của  $ZrO_2$  và lục giác của  $ZnO$ . Sự pha tạp  $ZnO$  cũng ảnh hưởng đến quá trình phân bố lỗ trống và diện tích bề mặt của vật liệu từ  $10m^2/g$  đến  $46m^2/g$ . Năng lượng vùng cấm của  $ZrO_2$  thay đổi khi thêm  $ZnO$ , kết quả đo được từ 4,73 đến 3,76eV. Hoạt tính xúc tác của các mẫu được đánh giá qua phản ứng quang hóa phân hủy phenol dưới ánh sáng UV trong 2 giờ. Mẫu có hàm lượng 75%  $ZnO$  có hoạt tính xúc tác tốt nhất với độ phân hủy phenol 71% và độ chuyển hóa thành  $CO_2$  và  $H_2O$  là 51%...

Trong bài báo này, chúng tôi trình bày kết quả tổng hợp vật liệu nanocomposite  $ZnO-ZrO_2$  bằng phương pháp đồng kết tủa kết hợp với rung siêu âm. Đồng thời nghiên cứu khả năng xúc tác quang cho phản ứng phân hủy phenol dưới ánh sáng đèn sợi đốt 100W.

## Thực nghiệm và phương pháp nghiên cứu

### Tổng hợp vật liệu và đặc trưng xúc tác

Các vật liệu nanocomposite  $ZnO-ZrO_2$  được tổng hợp bằng phương pháp đồng kết tủa kết hợp rung siêu âm từ  $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$  và  $ZrOCl_2 \cdot 8H_2O$ , pH=9, sau đó được nung ở  $600^\circ C$  trong 3 giờ. Tỉ lệ mol giữa  $ZnO:ZrO_2$  trong các mẫu tương ứng là 0:1; 1:1; 1:2; 2:1; 3:4; 4:3; 1:0 (ứng với ký hiệu mẫu ZZ01R, ZZ11R, ZZ12R, ZZ21R, ZZ34R, ZZ43R, ZZ10R). Mẫu ZZ11 được tổng hợp trong điều kiện không rung siêu âm với tỉ lệ và các điều kiện còn lại như mẫu ZZ11R. Quy trình tổng hợp xúc tác được trình bày dưới hình 1.



Hình 1: Quy trình tổng hợp xúc tác

Cấu trúc và tính chất của vật liệu được xác định bằng các phương pháp: nhiễu xạ tia X (XRD) được đo trên máy D8-ADVANCE, ảnh SEM được đo trên kính hiển vi điện tử quét phát xạ trường, S4800 của hãng Hitachi (Nhật Bản), phổ hấp thụ UV-Vis được đo trên máy Shimadzu UV 2600 spectrophotometer.

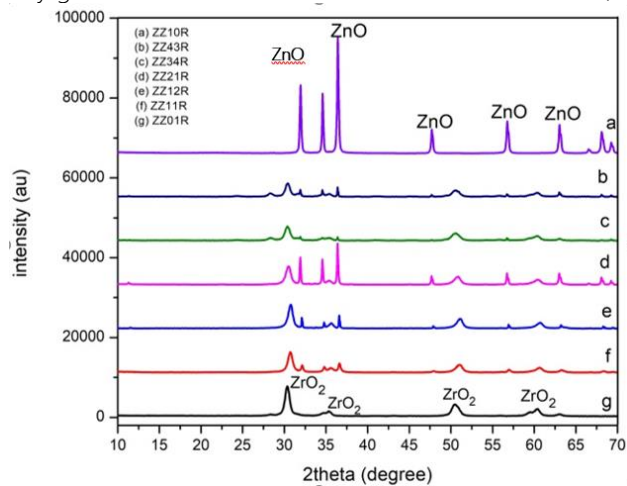
**Hoạt tính xúc tác của vật liệu ZnO-ZrO<sub>2</sub> trong phản ứng phân hủy phenol**

Vật liệu ZnO-ZrO<sub>2</sub> sau khi tổng hợp được nghiên cứu khả năng xúc tác cho phản ứng phân hủy phenol dưới ánh sáng đèn sợi đốt 100W. 100mg vật liệu nanocomposit ZnO-ZrO<sub>2</sub> được khuấy trộn với 100mL phenol nồng độ 10ppm. Trong 60 phút đầu, hỗn hợp được đặt trong bóng tối để cân bằng hấp phụ, sau đó được chiếu đèn sợi đốt 100W trong 5 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 độ hấp thụ của phenol tại bước sóng 270nm trên máy UV-Vis tại khoa Hóa học – ĐHSPTHN.

**Kết quả và thảo luận**

**Đặc trưng xúc tác**

Các mẫu vật liệu nanocomposit ZnO-ZrO<sub>2</sub> tổng hợp được đều có dạng bột mịn và màu trắng. Hình 2 trình bày giản đồ XRD của các mẫu ZnO-ZrO<sub>2</sub> theo các tỉ lệ.



Hình 2: Giản đồ XRD của các mẫu ZnO-ZrO<sub>2</sub>

Giản đồ XRD cho thấy các mẫu nanocomposit ZnO-ZrO<sub>2</sub> có các đỉnh nhiễu xạ đặc trưng tương ứng với các góc 30,76°; 32,09°; 51,03°; 60,29° của ZrO<sub>2</sub> (ZZ01R). Đồng thời có mặt các đỉnh nhiễu xạ tại các vị trí 31,74°; 36,41°; 47,53°; 56,72°; 62,9° của ZnO (ZZ10R). Với mẫu ZZ21R khi tăng hàm lượng ZnO gấp 2 lần ZrO<sub>2</sub>, trên giản đồ xuất hiện các đỉnh nhiễu xạ đặc trưng của ZnO

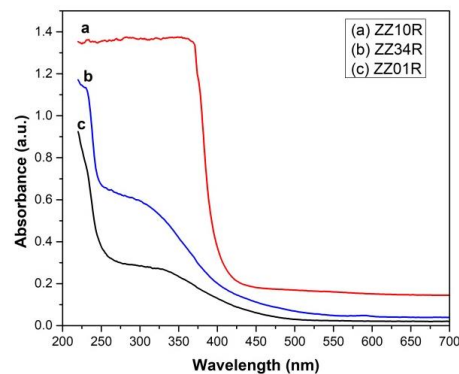
với cường độ tăng lên, điều này cho thấy khi tổ hợp ZnO và ZrO<sub>2</sub> có sự kết hợp Zn vào mạng ZrO<sub>2</sub> và ngược lại.

Kích thước tinh thể trung bình của các mẫu được tính theo công thức Scherrer:  $\bar{r} = \frac{0,89.\lambda}{\beta.\cos\theta}$ . Trong đó  $\bar{r}$  là

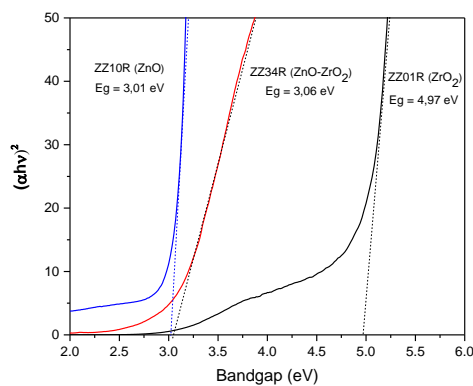
kích thước tinh thể trung bình của vật liệu tổng hợp được (nm),  $\lambda$  là bước sóng  $k_{\alpha}$  của anot (Å),  $\beta$  là độ bán mở rộng vạch pic đặc trưng (radian),  $\theta$  là góc nhiễu xạ bragg ứng với pic cực đại (độ). Kết quả được trình bày ở bảng 1.

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 (eV)
ZZ10R (ZnO)	30,23	3,01
ZZ11R	18,94	-
ZZ12R	18,21	-
ZZ21R	30,83	-
ZZ34R	19,7	3,06
ZZ43R	22,23	-
ZZ01R (ZrO <sub>2</sub> )	23,39	4,97



(3.a)

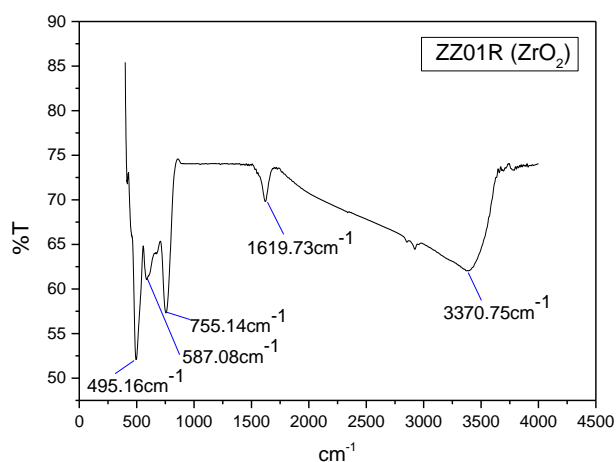


(3.b)

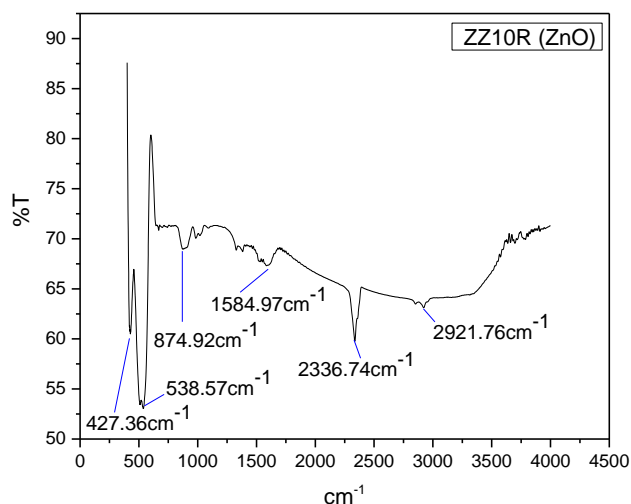
Hình 3: Phổ hấp thụ UV-Vis (3.a) và đồ thị xác định E<sub>g</sub> (3.b) của các mẫu ZZ10R, ZZ34R và ZZ01R

Kết quả đo UV-Vis (Hình 3) của các mẫu ZZ10R (ZnO), ZZ34R, ZZ01R (ZrO<sub>2</sub>) cho thấy có sự dịch chuyển dịch bờ hấp thụ của mẫu vật liệu nanocomposit ZnO – ZrO<sub>2</sub> so với 2 mẫu oxit tổng hợp riêng lẻ. Năng lượng vùng cấm được tính theo công thức Kubelka – Munk:  $(h\nu.\alpha) = A(h\nu - E_g)^{1/2}$ . Trong đó, h là hằng số Plank,  $\nu$  là tần số ánh sáng,  $\alpha$  là hệ số hấp thụ,  $E_g$  là bề rộng dải cấm, A là hệ số tỉ lệ. Bằng cách vẽ tiếp tuyến tại điểm dốc nhất của đường cong hấp thụ có thể xác định được  $E_g$  (hình 3.b). Kết quả tính  $E_g$  được trình bày ở bảng 1. Kết quả cho thấy mẫu oxit hỗn hợp ZnO – ZrO<sub>2</sub> có năng lượng vùng cấm 3,06 eV trong khi mẫu ZrO<sub>2</sub> có  $E_g = 4,97\text{eV}$ . Như vậy, có sự dịch chuyển sự hấp thụ bức xạ về vùng khả kiến và năng lượng vùng cấm của mẫu vật liệu composit ZZ34R (ZnO-ZrO<sub>2</sub>) giảm đáng kể so với mẫu ZrO<sub>2</sub> tinh khiết. Đây là yếu tố tốt, làm tăng hoạt tính xúc tác quang của các mẫu vật liệu tổ hợp.

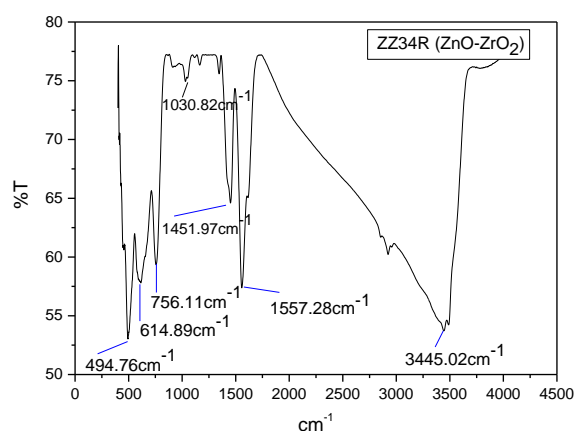
Phổ hấp thụ hồng ngoại của mẫu ZZ01R (ZrO<sub>2</sub>) (Hình 4.a) cho thấy, xuất hiện vân hấp thụ ở khoảng 3370cm<sup>-1</sup> và 16197cm<sup>-1</sup> đặc trưng cho dao động biến dạng của các nhóm OH và phân tử nước bề mặt [5]. Vân hấp thụ tại vị trí 587cm<sup>-1</sup> và 495cm<sup>-1</sup> được quy kết cho dao động của liên kết Zr-O và Zr-O-Zr [1,5]. Vân hấp thụ tại vị trí 755cm<sup>-1</sup> đặc trưng cho dao động liên kết Zr-OH trong ZrO<sub>2</sub> [5, 8, 9]. Trong mẫu vật liệu ZZ10R (ZnO) (hình 4.b) vân hấp thụ tại 2921cm<sup>-1</sup>, 2236cm<sup>-1</sup> và 1584cm<sup>-1</sup> được quy kết cho dao động của nhóm OH và dao động của nước bề mặt. Vân hấp thụ tại 874cm<sup>-1</sup>, 538 cm<sup>-1</sup> và 427 cm<sup>-1</sup> đặc trưng cho dao động của liên kết Zn-OH và Zn-O [6, 10]. Với mẫu vật liệu nanocomposite ZnO-ZrO<sub>2</sub> (ZZ34R) xuất hiện các liên kết tại 494 cm<sup>-1</sup>, 614 cm<sup>-1</sup>, 756 cm<sup>-1</sup> có sự dịch chuyển so với vân hấp thụ đặc trưng cho ZnO tinh khiết và ZrO<sub>2</sub> tinh khiết cho thấy đã có một phần liên kết Zn-O-Zr trong vật liệu. [1,3]



(4.a)

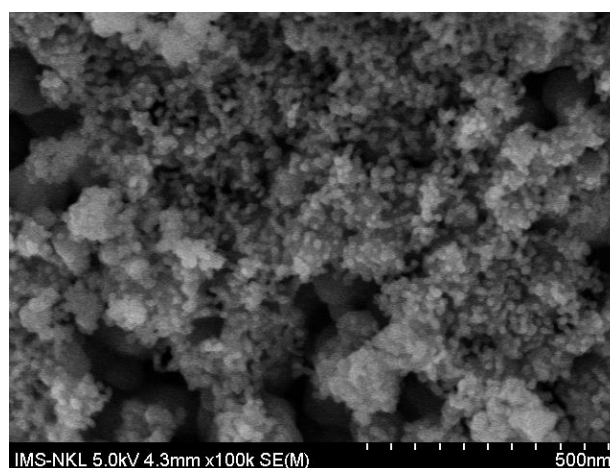


(4.b)



(4.c)

Hình 4: Phổ IR của mẫu ZZ01R (4.a), mẫu ZZ10R (4.b) và mẫu ZZ34R (4.c)



Hình 5: Ảnh SEM của mẫu ZZ34R

Ảnh SEM mẫu ZZ34R (Hình 5) cho thấy các hạt phân bố đồng đều, không bị kết đám, phân tách riêng rẽ, rõ nét với kích thước hạt khoảng 25 nm.

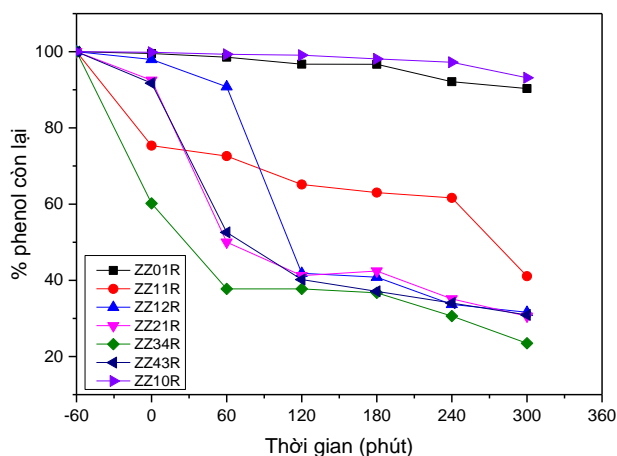
**Hoạt tính xúc tác quang phân hủy phenol của vật liệu**

Vật liệu ghép ZnO-ZrO<sub>2</sub> 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 phổ UV-Vis. Kết quả được trình bày dưới bảng 2.

Bảng 2: % Phenol còn lại theo thời gian

Thời gian	Mẫu							
	ZZ01R	ZZ11	ZZ11R	ZZ12R	ZZ21R	ZZ34R	ZZ43R	ZZ10R
-60	100	100	100	100	100	100	100	100
0	99.53	97.21	75.34	97.96	92.5	60.2	91.75	99.87
60	98.57	96.54	72.6	90.81	50.01	37.76	52.58	99.32
120	96.72	89.56	65.16	41.84	41.22	37.76	40.21	99.1
180	96.7	89.51	63.01	40.82	42.45	36.73	37.11	98.12
240	92.14	86.71	61.64	33.67	35.12	30.61	34.02	97.23
300	90.32	83.92	41.09	31.63	30.57	23.47	30.92	93.15

Ảnh hưởng của tỉ lệ ZnO:ZrO<sub>2</sub> trong phản ứng phân hủy phenol

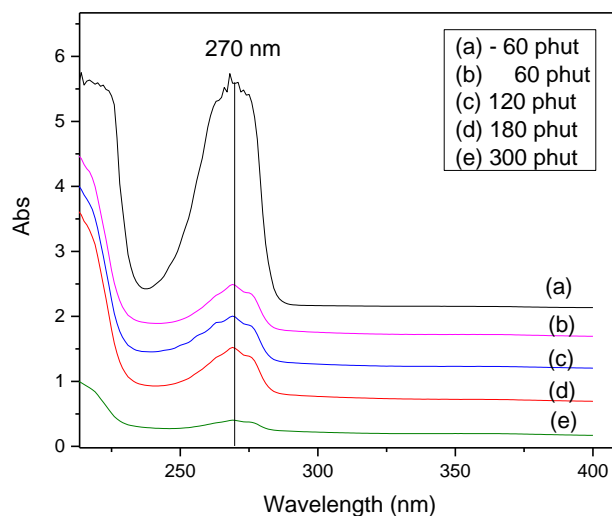


Hình 6: % phenol còn lại khi sử dụng các xúc tác với các tỉ lệ ZnO:ZrO<sub>2</sub> theo thời gian

Kết quả xúc tác quang phân hủy phenol của vật liệu ghép ZnO-ZrO<sub>2</sub> với tỉ lệ hàm lượng khác nhau (Hình 6) cho thấy vật liệu ghép có khả năng phân hủy phenol tốt hơn nhiều so với mẫu ZnO và ZrO<sub>2</sub> riêng rẽ. Sau 300 phút % phenol còn lại với các vật liệu ghép từ 23-41% trong khi đó % phenol còn lại khi sử dụng xúc tác riêng rẽ ZZ01R (ZrO<sub>2</sub>) và ZZ10R (ZnO) là 90.32% và 93.15%. Mẫu ZZ34R có khả năng xúc tác quang tốt nhất, sau 300 phút chiếu sáng hàm lượng phenol giảm còn 23.47%.

Hình 7 cho thấy sự thay đổi phổ UV-Vis của phenol tại các thời điểm trước (-60 phút) và trong (60 đến 300 phút) phản ứng quang xúc tác với mẫu ZZ34R. Cường

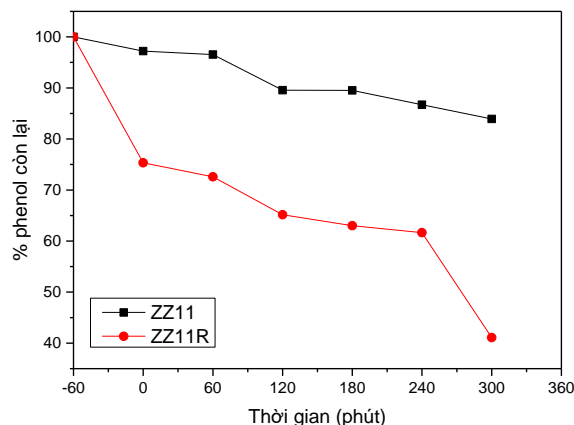
độ hấp thụ của phenol giảm dần chứng tỏ phenol đã phân hủy dần theo thời gian.



Hình 7: Phổ UV-Vis của phenol tại các thời điểm trong phản ứng quang xúc tác với mẫu ZZ34R

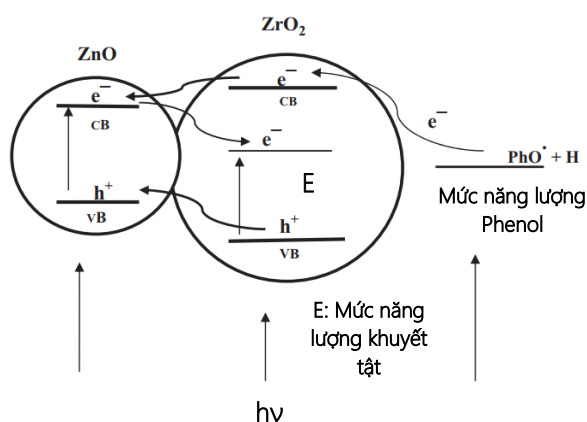
Ảnh hưởng của giai đoạn rung siêu âm trong quá trình tổng hợp vật liệu

Ảnh hưởng của giai đoạn rung siêu âm trong quá trình tổng hợp vật liệu đến hoạt tính xúc tác quang được thể hiện dưới hình 8. Kết quả xúc tác quang của mẫu ZZ11 (đồng kết tủa) và mẫu ZZ11R (đồng kết tủa kết hợp rung siêu âm) cho thấy mẫu ZZ11R có hoạt tính xúc tác tốt hơn hẳn mẫu ZZ11. Hàm lượng phenol còn lại sau 300 phút chiếu đèn khi dùng xúc tác ZZ11 là 83,2% trong khi đó với xúc tác ZZ11R là 41,09%. Điều này được giải thích do quá trình rung siêu âm đã tạo ra môi trường đặc biệt, làm tăng quá trình thủy phân các muối Zn và Zr. Hơn nữa quá trình rung siêu âm làm tăng tỉ lệ diện tích bề mặt so với thể tích, tạo ra các hạt nhỏ hơn do đó làm tăng năng lượng bề mặt các hạt vật liệu so với quá trình không kết hợp rung siêu âm [3,6].



Hình 8: % phenol còn lại theo thời gian khi sử dụng xúc tác ZZ11 và ZZ11R

Từ kết quả thực nghiệm và theo tài liệu [2] giản đồ mức năng lượng của quá trình chuyển electron giữa ZnO và ZrO<sub>2</sub> trong vật liệu ghép ZnO-ZrO<sub>2</sub> được thể hiện dưới hình 9:



Hình 9: Giản đồ mức năng lượng của quá trình chuyển electron giữa ZnO và ZrO<sub>2</sub> trong vật liệu ghép ZnO-ZrO<sub>2</sub>

Khi vật liệu ghép ZnO-ZrO<sub>2</sub> được kích thích bởi ánh sáng ( $h\nu$ ), các điện tử ở vùng hóa trị (VB) của ZnO có thể được kích thích lên vùng dẫn (CB) của nó. Trong khi đó năng lượng vùng cấm của ZrO<sub>2</sub> cao hơn, năng lượng này không đủ để kích thích điện tử từ VB sang CB của ZrO<sub>2</sub> tuy nhiên các điện tử kích thích tạo ra các lỗ trống khuyết tật trong vùng cấm của nó. Theo [2] có sự kích thích điện tử từ obitan không liên kết của phenol lên vùng dẫn CB của ZrO<sub>2</sub> và electron có thể được chuyển xuống vùng CB thấp hơn của ZnO. Electron cũng có thể chuyển từ vùng CB của ZnO đến vùng khuyết tật thấp hơn của ZrO<sub>2</sub> và lỗ trống chuyển từ vùng VB của ZrO<sub>2</sub> lên vùng VB của ZnO. Quá trình này làm tăng hiệu quả của sự tách cặp electron-lỗ trống do đó làm tăng hiệu suất quang xúc tác của vật liệu ghép ZnO-ZrO<sub>2</sub>.

## Kết luận

Từ Zn(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O và ZrOCl<sub>2</sub>.8H<sub>2</sub>O, bằng phương pháp đồng kết tủa kết hợp rung siêu âm đã tổng hợp được vật liệu ZnO-ZrO<sub>2</sub> với các tỉ lệ mol tương ứng về thành phần ZnO-ZrO<sub>2</sub> là 1:0, 1:1, 1:2, 2:1, 3:4, 4:3, 0:1. Vật liệu thu được có chứa đồng thời pha của ZnO và ZrO<sub>2</sub>, hạt dạng hình cầu, kích thước 18±30nm.

Vật liệu có khả năng xúc tác cho phản ứng phân hủy phenol dưới ánh sáng đèn sợi đốt 100W ( $\lambda = 450-750\text{nm}$ ). Trong đó vật liệu có hoạt tính xúc tác tốt nhất là ZZ34R, sau 300 phút hàm lượng Phenol còn lại 23,47%.

Vật liệu được tổng hợp bằng phương pháp đồng kết

tủa kết hợp rung siêu âm có hoạt tính xúc tác quang tốt hơn so với vật liệu không được tổng hợp bằng rung siêu âm. % hàm lượng phenol còn lại tương ứng với 2 mẫu rung siêu âm và không rung siêu âm là 83,92% và 41,09%.

Kết quả nghiên cứu cho thấy vật liệu ghép ZnO-ZrO<sub>2</sub> 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. M. C. Uribe López, M. A. Alvarez Lemus, M. C. Hidalgo, R. López González, P. Quintana Owen, S. Oros-Ruiz, S. A. Uribe López, and J. Acosta. J. Nanomater. Vol. 2019 Article ID 1015876 12 pages. <https://doi.org/10.1155/2019/1015876>
2. E.D. Sherly, J. Judith Vijaya, N. Clament Sagaya Selvam, L. John Kennedy. Ceram. Inter. 40 (2014) 5681–5691. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2013.11.006>
3. Shokufeh Aghabeygi and Mostafa Khademi Shamami. Ultrasonics Sonochem. (2017) <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.09.020>
4. Mahwish Bashir, Robina Ashraf, Muhammad Imtiaz, Saira Riaz and Shahzad Naseem. Adv. Nano, Biomechan., Robot., Energy Res. 2013 316-326.
5. Sobhy M. Yakout 1,2,\* and Hisham S. Hassan. Molecules 19 (2014) 9160-9172; <https://doi.org/10.3390/molecules19079160>
6. R. Mahdavi, S. S. Ashraf Talesh. Ultrason. Sonochem. 39 (2017) 504 – 510. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.05.012>
7. Nguyen Minh Thuy, Duong Quoc Van, Le Thi Hong Hai. Nanomater. Nanotechnol. 2012 14. <https://doi.org/10.5772%2F55318>
8. Hassan Koohestani, Mona Alinezhad, Seyyed Khatiboleslam Sadrnezhaad. Characterization of TiO<sub>2</sub>-ZrO<sub>2</sub> nanocomposite prepared by co precipitation method. <https://doi.org/10.22075/ANCR.2015.231>
9. Magesan.P, K.T.Dhanalekshmi. Inter. J. Pure Appl. 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<sub>2</sub> để xử lý phenol trong nước thải dệt nhuộm. Tạp chí Khoa học và Công nghệ 2012 50 (2B) 17-22