



## Tổng hợp vật liệu dị thể loại II SrTiO<sub>3</sub>/ZnO dùng làm chất xúc tác quang phân hủy MB dưới ánh sáng mặt trời

### Synthesis of type-II SrTiO<sub>3</sub>/ZnO heterojunction material for photocatalytic degradation of methylene blue under sunlight

Nguyễn Thị Việt Nga<sup>1</sup>, Lê Thị Thanh Liễu<sup>2</sup>, Đinh Thị Thu Hiền<sup>1</sup>, Trần Văn Thành<sup>1</sup>, Nguyễn Ánh Hồng<sup>1</sup>, Đỗ Hoàng Chinh<sup>1</sup>, Nguyễn Văn Kim<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Khoa Sư phạm Trường Đại học Quy Nhơn - 170 An Dương Vương, Quy Nhơn, Bình Định

<sup>2</sup> Khoa Khoa học Tự nhiên, Trường Đại học Quy Nhơn - 170 An Dương Vương, Quy Nhơn, Bình Định

\*Email: [nguyenvankim@qnu.edu.vn](mailto:nguyenvankim@qnu.edu.vn)

#### ARTICLE INFO

Received: 15/01/2024

Accepted: 30/3/2024

Published: 30/06/2024

#### Keywords:

SrTiO<sub>3</sub>/ZnO, photocatalyst, methylene blue, sunlight

#### ABSTRACT

This work presents the synthesis of ZnO, SrTiO<sub>3</sub>, and SrTiO<sub>3</sub>/ZnO catalysts by simple hydrothermal method. The obtained materials were characterized by X-Ray Diffraction (XRD), Fourier transformation infrared spectra (FT-IR), scanning electron microscopy (SEM), Energy-dispersive X-ray (EDS) and element mapping images, Photoluminescence spectroscopy (PL), and Ultraviolet–Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy (UV-Vis DRS). The photocatalytic activity of the synthesized materials was assessed by degradation of methylene blue (MB) under sunlight. In particular, SrTiO<sub>3</sub>/ZnO displayed outstanding photocatalytic activity compare to individual catalysts. Our findings have revealed an improvement of photogenerated charge separation and the dominating role of the holes and electrons in the degradation of MB.

## 1. Giới thiệu chung

Việc xả một lượng lớn nước thải có chứa các chất hữu cơ độc hại khác nhau vào môi trường là nguyên nhân chính gây nên tình trạng ô nhiễm các nguồn nước. Có nhiều phương pháp đã được áp dụng để xử lý nước, trong đó xúc tác quang là phương pháp đơn giản và hiệu quả nhất do khả năng phân hủy hoàn toàn các chất ô nhiễm. Phương pháp này sử dụng ánh sáng mặt trời như một nguồn năng lượng xanh, sạch, tái sinh.

Trong những năm gần đây, ZnO được các nhà khoa học quan tâm đặc biệt trong lĩnh vực xúc tác quang [1]. SrTiO<sub>3</sub> là một perovskite điển hình, có khả năng

điều chỉnh các tính chất lý, hóa bằng cách thay đổi thành phần của nó [2]. SrTiO<sub>3</sub> là một vật liệu xúc tác quang tiềm năng [3]. SrTiO<sub>3</sub> còn là chất bán dẫn quang xúc tác có thể thay thế ZnO đã được nghiên cứu chuyên sâu [4]. Tuy nhiên, nhược điểm của hai chất bán dẫn này là sự tái kết hợp các electron – lỗ trống quang sinh khi sử dụng đơn lẻ, làm hạn chế tính ứng dụng. Vì vậy, việc tìm ra một vật liệu mới trên cơ sở của hai vật liệu bán dẫn này để khắc phục nhược điểm của chúng là rất cần thiết.

Trong công bố này, nhóm nghiên cứu tiến hành lai ghép ZnO với SrTiO<sub>3</sub> nhằm tạo ra một loại vật liệu có hoạt tính xúc tác quang tốt, khắc phục nhược điểm của các vật liệu đơn lẻ ZnO và SrTiO<sub>3</sub>. Đây là một

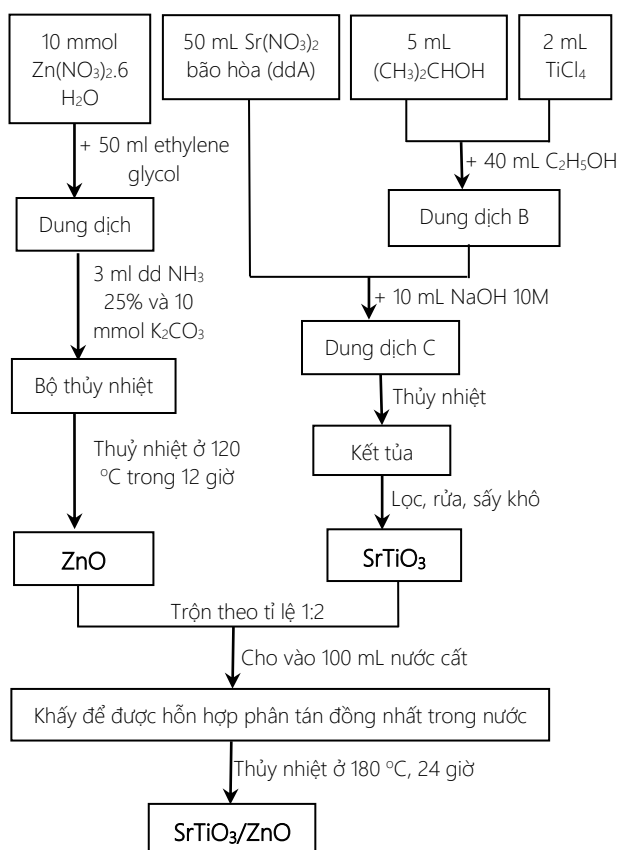
hướng đi mới đầy hứa hẹn, đang được các nhà khoa học vật liệu rất quan tâm.

## 2. Thực nghiệm và phương pháp nghiên cứu

Các hóa chất được sử dụng trong nghiên cứu này đều được mua từ hãng Sigma Aldrich (Đức) bao gồm Zinc acetate dehydrate ( $Zn(OCOCH_3)_2 \cdot 2H_2O$ ,  $\geq 99,0\%$ ), Zinc nitrate hexahydrate ( $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ,  $\geq 98\%$ ), Ammonium hydroxide solution 28% ( $NH_3$  in  $H_2O$ ,  $\geq 99,99\%$ ), Potassium carbonate ( $K_2CO_3$ ,  $\geq 99,99\%$ ), Ethylene glycol ( $HOCH_2CH_2OH$ ,  $\geq 99,8\%$ ), Titanium (IV) chloride ( $TiCl_4$ ,  $\geq 99,9\%$ ), Strontium nitrate ( $Sr(NO_3)_2$ ,  $\geq 99,0\%$ ), Sodium hydroxide ( $NaOH$ ,  $\geq 98\%$ ), Methylene blue ( $C_{16}H_{18}N_3SCl$ ,  $\geq 97\%$ ), Ethanol ( $C_2H_5OH$ ,  $\geq 99,9\%$ ), Isopropyl alcohol ( $(CH_3)_3CHOH$ ,  $\geq 99,9\%$ ). Tất cả các hóa chất đều thuộc loại có độ tinh khiết cao.

### Tổng hợp vật liệu

Vật liệu được tổng hợp theo sơ đồ:



### Đặc trưng vật liệu

Nhiều xạ tia X (XRD) của các mẫu được đo trên máy Brucker D8 Advance, ống phát tia X bằng Cu có bước sóng  $\lambda = 1,540 \text{ \AA}$ , điện áp 30kV, cường độ dòng ống phát 0,01A. Phổ hồng ngoại (IR) được quét trên máy IRPrestige-21 (Shimadzu). Kính hiển vi điện tử quét (SEM),

Kỹ thuật DES-mapping và quang phổ tán năng lượng tia X (EDS) được thực hiện trên máy HITACHI S 4800 HR-SEM. Phổ quang phát quang (PL) được ghi trên máy đo quang phổ huỳnh quang Horiba-Jobin-Yvon FL322. Quang phổ phản xạ khuếch tán tử ngoại – khả kiến (UV-vis DRS) được tiến hành trên thiết bị GBC-2885.

### Khảo sát hoạt tính quang xúc tác

Nồng độ dung dịch MB được xác định dựa trên đường chuẩn được thiết lập bởi mối quan hệ giữa độ hấp thụ theo nồng độ dung dịch methylene blue (MB) trên máy UV-vis Jenway 6800, tại bước sóng 663 nm. Hiệu suất phân hủy MB của các vật liệu được xác định theo công thức:

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

trong đó,  $C_0$  là nồng độ đầu của MB tại thời điểm đạt cân bằng hấp phụ – giải hấp phụ và  $C_t$  là nồng độ MB tại từng thời điểm khảo sát.

## 3. Kết quả và thảo luận

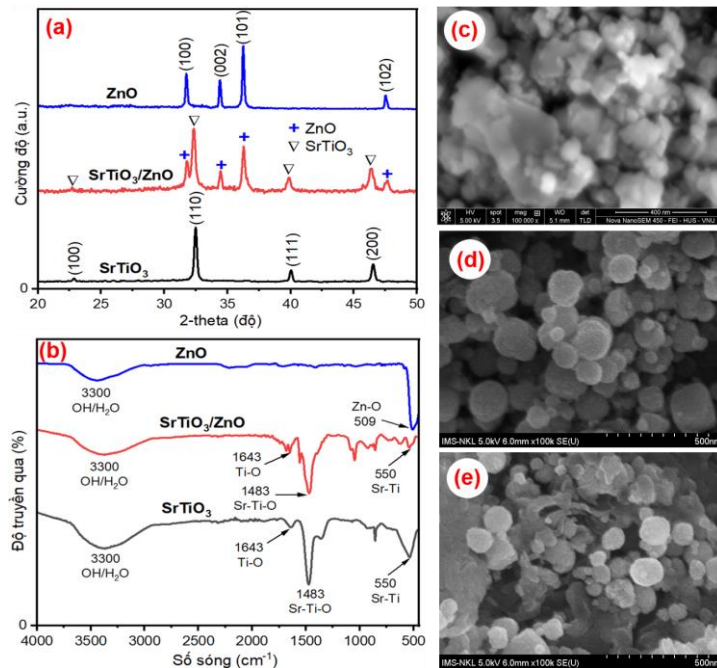
Nhiều xạ XRD của các mẫu ZnO, SrTiO<sub>3</sub> và composite SrTiO<sub>3</sub>/ZnO được bày ở Hình 1a. Kết quả cho thấy, với mẫu ZnO, các peak nhiễu xạ tại  $2\theta = 31,74^\circ; 34,45^\circ; 36,25^\circ; 47,53^\circ$  tương ứng với các mặt (100), (002), (101), (102), là các nhiễu xạ đặc trưng cho cấu trúc lục giác của ZnO (theo chuẩn JCPDS No. 36-1451) [5]. Kích thước tinh thể của ZnO được tính dựa vào độ rộng của nửa peak (FWHM) tại peak cực đại ứng với mặt (101) bằng phương trình Debby-Scherer:  $d = k\lambda/\beta \cdot \cos\theta$  (với  $k = 0,89$ ;  $\lambda = 0,154 \text{ nm}$ ;  $\beta = (FWHM)\pi/180$  với  $FWHM = 0,182^\circ$  và  $\theta = 36,25^\circ$ ), kết quả tính được kích thước tinh thể ZnO khoảng 45 nm. Mẫu SrTiO<sub>3</sub>, các đỉnh nhiễu xạ tại  $2\theta = 22,86^\circ; 32,48^\circ; 40,04^\circ; 46,54^\circ$  tương ứng với các mặt nhiễu xạ (100); (110); (111); (200). Kết quả này hoàn toàn trùng khớp với thẻ chuẩn JCPDS No.35-0734 của SrTiO<sub>3</sub> [6]. Mẫu composite SrTiO<sub>3</sub>/ZnO, chứa đầy đủ các nhiễu xạ đặc trưng của ZnO và SrTiO<sub>3</sub>. Ngoài ra, trên mẫu này không thấy xuất hiện pha tinh thể của bất kì chất khác. Điều này chứng tỏ, composite SrTiO<sub>3</sub>/ZnO chỉ gồm hai thành phần là ZnO và SrTiO<sub>3</sub>.

Phổ IR của các mẫu đơn ZnO, SrTiO<sub>3</sub> và composite SrTiO<sub>3</sub>/ZnO được trình bày ở Hình 1b. Kết quả cho thấy, dải hấp thụ tại  $509 \text{ cm}^{-1}$  là dao động đặc trưng của liên kết Zn-O [7]. Đối với mẫu SrTiO<sub>3</sub>, peak ở  $550 \text{ cm}^{-1}$  là dao động của liên kết Sr-Ti, một peak mạnh ở  $1483 \text{ cm}^{-1}$  là dao động của liên kết Sr-Ti-O và một peak ở  $1642 \text{ cm}^{-1}$  là dao động của liên kết Ti-O [8]. Trên mẫu composite SrTiO<sub>3</sub>/ZnO hiển thị đầy đủ các dao động đặc trưng các liên kết này của ZnO và

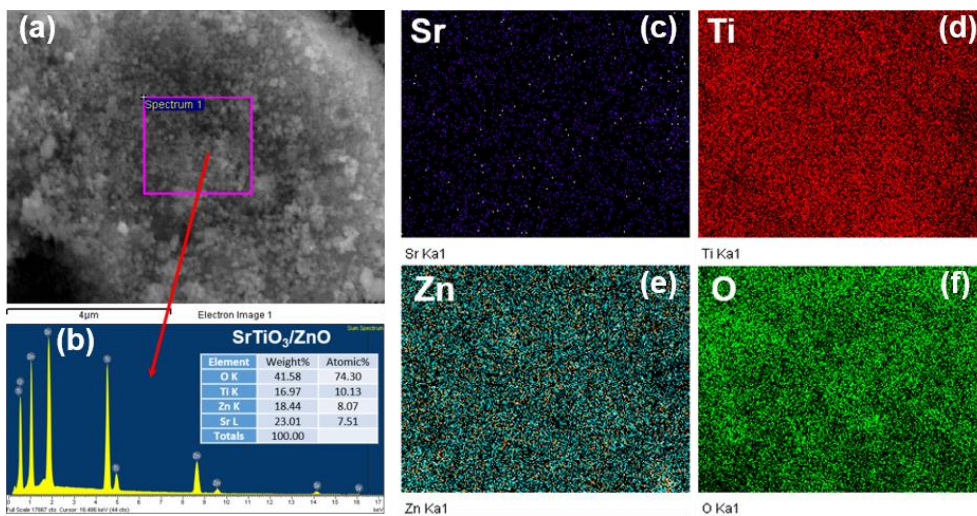
SrTiO<sub>3</sub>. Ngoài ra, dải hấp thụ có số sóng 3300 cm<sup>-1</sup> đặc trưng cho dao động của các phân tử nước hấp phụ vật lý trên bề mặt các mẫu vật liệu. Kết quả này hoàn toàn phù hợp với kết quả thu được từ nhiễu xạ XRD. Hình thái, kích thước hạt của các mẫu vật liệu ZnO, SrTiO<sub>3</sub> và composite SrTiO<sub>3</sub>/ZnO được xác định bởi kính hiển vi điện tử quét (SEM), kết quả được trình bày ở Hình 1c,d,e. Hình thái bề mặt của ZnO hoàn toàn khác với SrTiO<sub>3</sub> và composite SrTiO<sub>3</sub>/ZnO. Ở Hình 1c, ZnO có hình dạng hình lập phương; Hình 1d, SrTiO<sub>3</sub> là các hạt có dạng hình cầu, kích thước phân bố tập trung từ 50-150 nm tính theo thang đo. Ở Hình 1e, là các hạt hình cầu nhỏ hơn, có kích thước phân bố tập trung từ 30-100 nm tính theo thang đo. Sự khác nhau này được gây ra bởi

sự có mặt của vật liệu ZnO trong composite. Thành phần nguyên tố của mẫu vật liệu SrTiO<sub>3</sub>/ZnO được đặc trưng bởi phổ tán xạ năng lượng tia X (EDS), kết quả được trình bày ở Hình 2a,b. Trên phổ tán xạ năng lượng tia X của composite SrTiO<sub>3</sub>/ZnO, về mặt định tính chỉ xuất hiện peak của các nguyên tố Sr, Zn, Ti và O.

Ngoài các nguyên tố này, không thấy xuất hiện peak của bất kì nguyên tố nào khác. Cũng theo phương pháp đặc trưng này, thành phần khối lượng của các nguyên tố trong các mẫu cũng được xác định, kết quả cũng được trình bày ở Hình 2b. Có thể thấy rằng mẫu chỉ có các nguyên tố Sr, Ti, Zn và O là thành phần của composite SrTiO<sub>3</sub>/ZnO.



Hình 1: (a)-Giản đồ nhiễu xạ XRD; (b)-Phổ FT-IR của các mẫu vật liệu ZnO, SrTiO<sub>3</sub> và composite SrTiO<sub>3</sub>/ZnO; (c), (d), (e)- Ảnh SEM của mẫu vật liệu ZnO, SrTiO<sub>3</sub> và SrTiO<sub>3</sub>/ZnO tương ứng



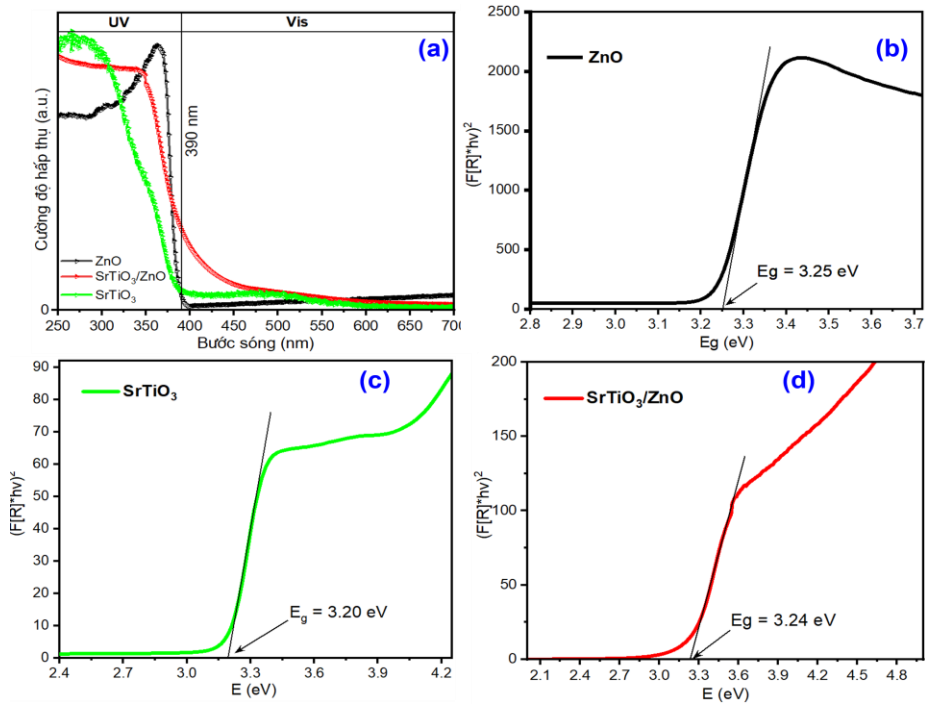
Hình 2: (a,b)-Phổ EDS của mẫu vật liệu composite SrTiO<sub>3</sub>/ZnO; (c-f)-Sự phân bố của các nguyên tố trong vật liệu SrTiO<sub>3</sub>/ZnO được xác định bằng kỹ thuật EDS-mapping

Sự phân bố của các nguyên tố trong mẫu composite SrTiO<sub>3</sub>/ZnO còn được kiểm tra bằng kỹ thuật EDS-mapping. Kết quả từ Hình 2(c-f) cho thấy, sự phân bố của các nguyên tố Sr, Ti, Zn và O khá đồng nhất trong mẫu vật liệu SrTiO<sub>3</sub>/ZnO. Đây là phương pháp xác định chính xác thành phần định tính các nguyên tố. Như vậy, kết quả đặc trưng XRD và IR và EDS chứng tỏ rằng, composite SrTiO<sub>3</sub>/ZnO đã được tổng hợp thành công và tinh khiết.

Phổ UV-vis DRS của các mẫu vật liệu được trình bày ở Hình 3. Từ kết quả này cho thấy, ZnO và SrTiO<sub>3</sub> có bờ

hấp thụ ánh sáng nằm hoàn toàn trong vùng tử ngoại ( $\lambda < 390$  nm), bờ hấp thụ của composite có dịch về vùng khả kiến nhưng không nhiều. Điều này chứng tỏ, sự lai ghép tạo composite SrTiO<sub>3</sub>/ZnO không thay đổi nhiều giá trị năng lượng vùng cấm.

Năng lượng vùng cấm của các vật liệu ZnO, SrTiO<sub>3</sub> và composite SrTiO<sub>3</sub>/ZnO cũng được xác định bằng phương pháp này dựa vào hàm Kubelka-Munk. Kết quả,  $E_g(\text{ZnO}) = 3,25$  eV;  $E_g(\text{SrTiO}_3) = 3,20$  eV và  $E_g(\text{SrTiO}_3/\text{ZnO}) = 3,24$  eV.



Hình 3: Phổ UV-Vis DRS (a) và năng lượng vùng cấm của các mẫu vật liệu ZnO (b), SrTiO<sub>3</sub> (c) và composite SrTiO<sub>3</sub>/ZnO (d)

Hoạt tính xúc tác quang phân hủy MB (10 mg/L) của các vật liệu được trình bày ở Hình 4a. Kết quả cho thấy mức độ phân hủy quang MB dưới sự chiếu xạ của ánh sáng mặt trời ở thí nghiệm trắng (không có chất xúc tác) và các thí nghiệm khác với sự có mặt của các vật liệu đơn ZnO, SrTiO<sub>3</sub>, composite SrTiO<sub>3</sub>/ZnO đã điều chế là rất khác nhau. Mức độ phân hủy MB quang xúc tác xác định bởi đại lượng  $C_t/C_0$  được tính toán cho mỗi quá trình phân hủy quang tại cực đại ở bước sóng 663 nm ( $C_0$  và  $C_t$  lần lượt là nồng độ MB ban đầu và nồng độ tại thời điểm phản ứng  $t$ , tương ứng). Ở thí nghiệm không có chất xúc tác, nồng độ MB hầu như không giảm. Ngược lại, khi thêm chất xúc tác, nồng độ dung dịch MB giảm đáng kể, composite SrTiO<sub>3</sub>/ZnO điều chế được cho thấy mức độ phân hủy MB cao hơn rất nhiều so với các mẫu vật liệu đơn ZnO và SrTiO<sub>3</sub>.

Hiệu suất phân hủy MB bởi composite SrTiO<sub>3</sub>/ZnO đạt 98,16%; trong khi hiệu suất phân hủy MB của ZnO và SrTiO<sub>3</sub> chỉ đạt 55,40% và 31,24% tương ứng.

Mô hình động học biểu kiến Langmuir - Hinshelwood cũng được áp dụng để đánh giá động học của quá trình quang xúc tác phân hủy MB, kết quả được trình bày ở Hình 4b.

$$\ln \frac{C_0}{C_t} = kKt = k't \quad (1)$$

với  $k'$  là hằng số tốc độ biểu thị cho mức độ phân hủy MB.

Kết quả từ Hình 4b cho thấy, tốc độ phân hủy MB của các vật liệu tuân theo phương trình động học bậc 1, với hệ số hồi quy khá cao. Hằng số tốc độ  $k'$  của SrTiO<sub>3</sub>,

ZnO và SrTiO<sub>3</sub>/ZnO là 0,0037; 0,0079 và 0,0464 (min<sup>-1</sup>), tương ứng.

Từ các giá trị k' chỉ ra rằng composite SrTiO<sub>3</sub>/ZnO có tốc độ phân hủy MB khá lớn so với các vật liệu ZnO và SrTiO<sub>3</sub> riêng lẻ. Cụ thể, tốc độ phân hủy MB bởi mẫu SrTiO<sub>3</sub>/ZnO gấp 12,5 lần so với mẫu SrTiO<sub>3</sub>, gấp gần 5,9 lần so với mẫu ZnO. Kết quả này một lần nữa khẳng định, hoạt tính xúc tác quang của composite SrTiO<sub>3</sub>/ZnO được tăng cường vượt trội so với các vật liệu ZnO, SrTiO<sub>3</sub>. Có thể giải thích một cách đơn giản về hiệu suất xúc tác quang cao của composite này dựa vào lý thuyết vùng năng lượng của vật liệu lai ghép như sau: khi lai ghép, sẽ xuất hiện các mức năng lượng nằm trong vùng cấm, chính các mức này khiến cho điện tử dễ dàng chuyển lên vùng dẫn hoặc lỗ trống dễ dàng di chuyển xuống vùng hóa trị để tạo nên tính dẫn của vật liệu. Vì thế, chỉ cần lai ghép với hàm lượng rất nhỏ cũng làm thay đổi lớn tính dẫn điện của vật liệu. Đây là sự thay đổi rất có ý nghĩa, sự thay đổi này sẽ làm giảm khả năng tái tổ hợp electron – lỗ trống quang sinh xảy ra trong vật liệu composite SrTiO<sub>3</sub>/ZnO. Để minh chứng cho điều này, các mẫu vật liệu tiếp tục được đặc trưng bởi phổ quang phát quang và được trình bày ở Hình 4c.

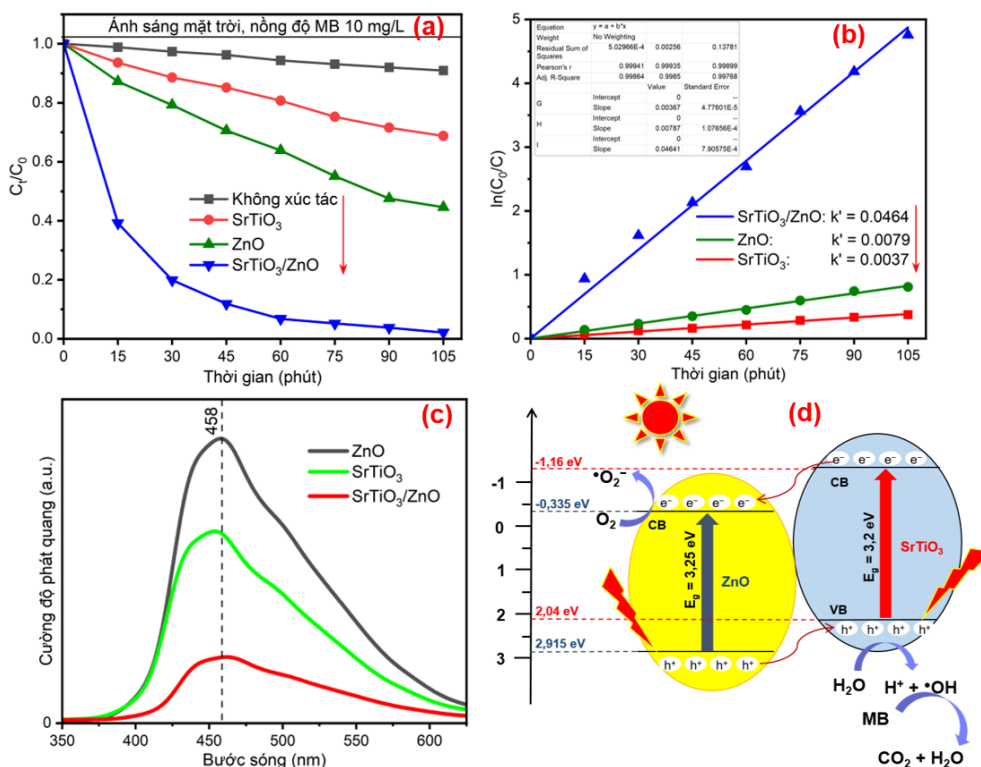
Kết quả phổ PL ở Hình 4c cho thấy, ZnO và SrTiO<sub>3</sub> có cường độ phát quang mạnh ở bước sóng 458 nm và 451 nm, tương ứng. Trong composite SrTiO<sub>3</sub>/ZnO, sự có mặt đồng thời của hạt nano SrTiO<sub>3</sub> và ZnO (ảnh SEM ở Hình 1e) làm giảm mạnh cường độ phát quang của composite này. Phát hiện này cho thấy, hiệu quả kéo dài “thời gian sống” của hạt mang điện (e<sup>-</sup> quang sinh, lỗ trống quang h<sup>+</sup>) thông qua hai cơ chế: Thứ nhất, SrTiO<sub>3</sub>/ZnO hoạt động như một chất cảm quang, góp phần lớn electron vào vùng dẫn, dẫn đến sự hình thành nhiều gốc hydroxyl hơn. Thứ hai, SrTiO<sub>3</sub>/ZnO thúc đẩy sự phân tách các cặp electron – lỗ trống quang sinh làm tăng cường hiệu suất xúc tác của composite SrTiO<sub>3</sub>/ZnO.

Trên cơ sở một số vật liệu đã được công bố [9, 10], quá trình phân tách electron – lỗ trống quang sinh, sự hình thành các gốc tự do trong vật liệu composite SrTiO<sub>3</sub>/ZnO khi được chiếu sáng được đề xuất ở Hình 4d.

Biên vùng hóa trị (VB) và vùng dẫn (CB) của ZnO và SrTiO<sub>3</sub> có thể được tính bằng các công thức sau:

$$E_{CB} = \chi - E^e - 0,5E_g$$

$$E_{VB} = E_{CB} + E_g$$



Hình 4: (a)-Sự phân hủy MB (10 mg/L) bởi vật liệu ZnO, SrTiO<sub>3</sub> và composite SrTiO<sub>3</sub>/ZnO (lượng xúc tác 0,03 gam) (ở điều kiện cân bằng hấp phụ); (b)-Sự phân hủy MB theo mô hình động học biểu kiến Langmuir–Hinshelwood của vật liệu ZnO, SrTiO<sub>3</sub> và composite SrTiO<sub>3</sub>/ZnO; (c)-Phổ quang phát quang của các vật liệu ZnO, SrTiO<sub>3</sub> và composite SrTiO<sub>3</sub>/ZnO và (d)-Sơ đồ giải thích cơ chế phân tách electron – lỗ trống quang sinh của vật liệu SrTiO<sub>3</sub>/ZnO dưới sự chiếu xạ ánh sáng mặt trời

Trong đó  $\chi$  là độ âm điện tuyệt đối của chất bán dẫn (được định nghĩa là trung bình cộng của ái lực electron và độ ion hóa đầu tiên của các nguyên tử cấu thành),  $E^e$  là năng lượng của các electron tự do trên thang hydrogen (4,5 eV), và  $E_g$  là năng lượng vùng cấm của chất bán dẫn. Giá trị  $\chi$  của SrTiO<sub>3</sub> và ZnO được ước tính lần lượt là 4,94 eV [1] và 5,79 eV [2]. Theo kết quả UV-Vis DRS,  $E_g$  của SrTiO<sub>3</sub> và ZnO lần lượt là 3,2 eV và 3,25 eV. Do đó, thế năng biên CB và VB của SrTiO<sub>3</sub> lần lượt được xác định ở -1,16 eV và +2,04 eV. Thế năng biên CB và VB của ZnO lần lượt được tính ở -0,335 eV và +2,915 eV (Hình 4d). Cơ chế phản ứng quang xúc tác phân hủy MB bởi composite SrTiO<sub>3</sub>/ZnO được mô tả chi tiết như sau: khi được chiếu sáng bằng ánh sáng mặt trời, sự phân tách electron - lỗ trống quang sinh xảy ra ở bề mặt của các vật liệu thành phần ZnO và SrTiO<sub>3</sub> của composite SrTiO<sub>3</sub>/ZnO. Ở vùng hóa trị (VB),  $h^+$  sẽ tương tác với các phân tử H<sub>2</sub>O để hình thành nên các gốc tự do  $\cdot$ OH, tiếp tục phân hủy MB. Đồng thời với quá trình này, các  $e^-$  sẽ di chuyển lên vùng dẫn (CB), tại đây do sự chênh lệch thế giữa các vùng CB, electron trên vùng CB của SrTiO<sub>3</sub> thay vì quay trở lại vùng VB (tái kết hợp), nó sẽ di chuyển sang vùng CB của ZnO và di chuyển ra bề mặt vật liệu, điều này làm giảm quá trình tái tổ hợp electron - lỗ trống quang sinh. Tại đây, các electron này sẽ tương tác với O<sub>2</sub> không khí hấp phụ trên bề mặt vật liệu để hình thành nên các gốc  $\cdot$ O<sub>2</sub><sup>-</sup> tiếp tục phân hủy MB (Hình 4d).

Như vậy, tác dụng hiệp trợ của hai thành phần ZnO và SrTiO<sub>3</sub> trong composite SrTiO<sub>3</sub>/ZnO làm giảm đáng kể tốc độ tái tổ hợp electron - lỗ trống quang sinh và làm tăng cường hiệu suất quang xúc tác của composite SrTiO<sub>3</sub>/ZnO (đạt hiệu suất 98,16% ở pH = 12).

#### 4. Kết luận

Composite SrTiO<sub>3</sub>/ZnO đã được tổng hợp thành công bằng phương pháp thủy nhiệt và được đánh giá hoạt tính xúc tác bằng phản ứng quang phân hủy MB. Các thí nghiệm được thiết kế để tối ưu hóa các điều kiện phản ứng quang xúc tác. Hoạt tính quang xúc tác của composite SrTiO<sub>3</sub>/ZnO được tăng cường là do: i) sự hình thành liên kết dị thể SrTiO<sub>3</sub>-ZnO trong composite

làm thúc đẩy sự phân tách các electron - lỗ trống quang sinh và kéo dài "thời gian sống" của các hạt mang điện ( $e^-$ ,  $h^+$ ); ii) khả năng nhạy quang, làm tăng các hạt mang điện ở phần tiếp giáp làm tăng cường phản ứng quang xúc tác phân hủy thuốc nhuộm MB. Cơ chế của phản ứng quang xúc tác phân hủy MB bởi composite SrTiO<sub>3</sub>/ZnO cũng được đề xuất.

#### Tài liệu tham khảo

1. X.H. Zhang, S.Y. Xie, Z.Y. Jiang, X. Zhang, Z.Q. Tian, Z.X. Xie, R.B. Huang, and L.S. Zheng, *J. Phys Chem B*, 107 (2003) 10114-10118. <https://doi.org/10.1021/jp034487k>
2. B. Jalan, R.E. Herbert, T.E. Mates, and S. Stemmer, *Appl. Phys. Lett.*, 93 (2008) 052907. <https://doi.org/10.1063/1.2969037>
3. F.T. Wagner & G.A. Somorjai, *Nature*, 285 (1980) 559-560. <https://doi.org/10.1038/285559A0>
4. Y. Wu, E. Girgis, V. Ström, W. Voit, L. Belova, K. V. Rao, *Phys Status Solidi a Appl Mater Sci.*, 208 (2011) 206-209. <https://doi.org/10.1002/pssa.201026264>
5. P. Ren, H. Fan, & X. Wang, *Catalysis Communications*, 25 (2012) 32-35. <https://doi.org/10.1016/j.catcom.2012.04.003>
6. M.V. Le, N.Q.D. Vo, Q.C. Le, V.A. Tran, T.Q.P. Phan, C.W. Huang, V.H. Nguyen, *Catalysts* 11 (2021) 564. <https://doi.org/10.3390/catal11050564>
7. D.R. Paul, S. Gautam, P. Panchal, S.P. Nehra, P. Choudhary, & A. Sharma, *ACS Omega*, 5 (2020) 3828-3838. <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b02688>
8. N. Rajkoomar, A. Murugesan, S. Prabu & R.M. Gengan, *Phosphorus, Sulfur, and Silicon and the Related Elements*, 195 (2020) 1031-1038. <https://doi.org/10.1080/10426507.2020.1799366>
9. C. Cheng, J. Wang, Z. Zhao, C. Chen, S. Cui, Y. Wang, L. Pan, Y. Ni, C. Lu, *Journal of Alloys and Compounds*, 896 (2022) 163064. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2021.163064>
10. Y. Xu and M.A.A. Schoonen, *American Mineralogist*, 85 (2000) 543-556. <https://doi.org/10.2138/am-2000-0416>
11. S. Yi, F. Zhao, X. Yue, D. Wang and J. Lin, *New J. Chem.*, 39, (2015), 6659-6666. <https://doi.org/10.1039/C5NJ00707K>