



## Quang xúc tác phân huỷ methylene blue từ dung dịch nước sử dụng SnO<sub>2</sub>/BaTiO<sub>3</sub> cấu trúc dị thể

### Photocatalytic degradation of methylene blue from an aqueous solution using SnO<sub>2</sub>/BaTiO<sub>3</sub> heterostructure

Nguyễn Thị Việt Nga<sup>1</sup>, Nguyễn Lê Thanh Hằng<sup>2</sup>, Hồ Thị Thành<sup>2</sup>, Lê Thị Thanh Liễu<sup>2</sup>, Nguyễn Thị Lan<sup>2</sup>, Phạm Ngọc Thuật<sup>3</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

<sup>3</sup>Viện Công nghệ, Tổng cục Công nghiệp Quốc phòng - Bắc Từ Liêm, Hà Nội

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

#### ARTICLE INFO

Received: 29/06/2022

Accepted: 21/09/2022

Published: 15/03/2023

#### Keywords:

SnO<sub>2</sub>/BaTiO<sub>3</sub>, photocatalyst, methylene blue, visible light.

#### ABSTRACT

In this study, the SnO<sub>2</sub>/BaTiO<sub>3</sub> heterostructure has been fabricated by firstly preparing SnO<sub>2</sub> and BaTiO<sub>3</sub> through, followed by coupling SnO<sub>2</sub> and BaTiO<sub>3</sub> by the hydrothermally method. The samples are denoted as SBTO-x:y, where x:y is weight ratio of SnO<sub>2</sub> và BaTiO<sub>3</sub> (x:y = 1:3, 1:5 và 1:7) in the reaction mixtures. The obtained materials were characterized by XRD, IR, EDS-mapping, SEM. The photocatalytic activity of SBTO-x:y SnO<sub>2</sub> and BaTiO<sub>3</sub> samples was assessed by degradation of methylene blue in aqueous solution under sunlight. Among them, SBTO-1:5 exhibited the best performance. An enhancement in photocatalytic activity of the composites is believed to the presence of BaTiO<sub>3</sub>.

#### Giới thiệu chung

Ngày nay, ô nhiễm nguồn nước là một trong những vấn đề xã hội đang phải đối mặt. Sự ô nhiễm làm ảnh hưởng rất xấu đến trạng thái cân bằng của hệ sinh thái. Vì thế, việc nghiên cứu xử lý các hợp chất hữu cơ độc hại trong môi trường nước là một trong những mối quan tâm hàng đầu của mỗi quốc gia. Gần đây, phương pháp xử lý nhận được nhiều sự quan tâm của các nhà khoa học là quá trình quang hóa xúc tác [1].

Perovskite titanates, ATiO<sub>3</sub> (A= Ca, Sr, Ba, v.v...) là loại vật liệu rất tiềm năng cho quá trình xúc tác quang vì khả năng oxy hóa phù hợp và độ ổn định hóa lý cao. Trong đó, BaTiO<sub>3</sub> là một trong những vật liệu đầy hứa

hẹn cho các ứng dụng xúc tác quang. BaTiO<sub>3</sub> là một chất bán dẫn chỉ thể hiện hoạt tính xúc tác quang mạnh trong vùng UV và hoạt tính giảm nhanh do tốc độ tái kết hợp giữa electron quang sinh và lỗ trống quang sinh mạnh [2].

Tin (IV) oxide (SnO<sub>2</sub>) là chất bán dẫn loại n với năng lượng vùng cấm rộng (3,6 eV) [3], chủ yếu hấp thụ mạnh ánh sáng vùng tử ngoại. Khi sử dụng riêng lẻ, hoạt tính xúc tác của vật liệu này giảm đáng kể. Để khắc phục nhược điểm này, nhiều vật liệu đã được chế tạo bằng cách lai ghép SnO<sub>2</sub> với vật liệu khác. Các vật liệu tạo thành có hoạt tính vượt trội và đạt hiệu suất xúc tác quang khá cao [4-6]. Do đó, việc kết hợp BaTiO<sub>3</sub> với SnO<sub>2</sub> nhằm cải thiện hoạt tính xúc tác quang của các vật liệu riêng lẻ là hướng nghiên cứu

thứ vị, thu hút khá nhiều sự chú ý, quan tâm của các nhà khoa học [7, 8] trong những năm gần đây.

Thuốc nhuộm được sử dụng rộng rãi trong các ngành công nghiệp như dệt may, thực phẩm, giấy... Sản lượng thuốc nhuộm tổng hợp hàng năm là khoảng 70.000 tấn với 100.000 loại thuốc nhuộm. Trong quá trình sử dụng, khoảng 15- 20% bị mất và đi vào trong nước thải [9]. Khi thải trực tiếp ra môi trường, sự xuất hiện của thuốc nhuộm sẽ có những tác động tiêu cực đến sinh vật dưới nước và sức khỏe con người. Methylene blue ( $C_{16}H_{18}N_3S$ ) là một trong những thuốc nhuộm cation được sử dụng thường xuyên nhất trong công nghiệp [10]. Liên quan đến số lượng và tác động có hại của nó, cần phải nỗ lực làm giảm hàm lượng methylene blue trước khi thải ra môi trường.

Trong công bố này, nhóm nghiên cứu tiến hành lai ghép  $SnO_2$  với  $BaTiO_3$  nhằm tạo ra một loại vật liệu mới, có hoạt tính xúc tác quang tốt, khắc phục những nhược điểm của các vật liệu đơn lẻ, đồng thời đánh giá hoạt tính quang xúc tác của vật liệu này bởi phản ứng phân hủy methylene blue trong dung dịch nước. Đây là một hướng đi mới đầy hứa hẹn, đang được các nhà khoa học vật liệu rất quan tâm.

## Thực nghiệm và phương pháp nghiên cứu

### Hóa chất

Các hóa chất được sử dụng trong nghiên cứu này đều được mua từ hãng Sigma Aldrich (Đức) bao gồm Tin (IV) chloride pentahydrate ( $SnCl_4 \cdot 5H_2O$ ,  $\geq 99,8\%$ ), Titanium (IV) chloride ( $TiCl_4$ ,  $\geq 99,9\%$ ), barium nitrate ( $Ba(NO_3)_2$ ,  $\geq 99,0\%$ ), sodium hydroxide (NaOH,  $\geq 97,0\%$ ), isopropyl alcohol ( $(CH_3)_2CHOH$ ,  $\geq 99,5\%$ ), methylene blue hydrate ( $C_{16}H_{18}ClN_3S \cdot xH_2O$ ,  $\geq 97\%$ ), ethanol ( $C_2H_5OH$ ,  $\geq 99,9\%$ ). Tất cả các hóa chất đều thuộc loại có độ tinh khiết cao.

### Phương pháp tổng hợp vật liệu

**Tổng hợp  $SnO_2$ :** Thêm từ từ 100 mL dung dịch  $SnCl_4 \cdot 5H_2O$  0.1 M vào 150 mL ethanol. Khuấy liên tục hỗn hợp trong 2 giờ, giữ nhiệt độ ở 70 °C. Sau đó để nguội ở nhiệt độ phòng. Tiếp tục thêm từng giọt dung dịch NaOH đến khi pH đạt giá trị 8 thu được gel. Lọc gel, đem sấy khô trong 24 giờ ở 80 °C để tạo xerogels. Cho xerogels vào cốc sứ có nắp đậy, bọc kín bằng giấy nhôm và nung ở 550 °C trong 2 giờ. Để nguội ở nhiệt độ phòng, nghiền mịn thu được sản phẩm có màu trắng là  $SnO_2$ .

**Tổng hợp  $BaTiO_3$ :** cho một lượng  $Ba(NO_3)_2$  hòa tan vào 46,6 mL nước cất đến khi đạt dung dịch bão hòa ở nhiệt độ phòng. Mặt khác, cho 5,6 mL isopropanol và 2 mL  $TiCl_4$  hòa tan trong 39 mL ethanol khan cho đến khi tạo thành dung dịch trong suốt. Sau đó nhỏ từ từ dung dịch  $Ba(NO_3)_2$  vào dung dịch gồm isopropanol và 2 mL  $TiCl_4$ . Tiếp tục thêm 10 mL dung dịch NaOH 10M vào và khuấy liên tục trong 1 giờ nữa. Dung dịch thu được cho vào autoclave, đậy kín và đun nóng ở nhiệt độ 200 °C trong 24 giờ. Kết tủa thu được đem ly tâm, rửa sạch bằng nước cất cho đến khi pH = 7. Cuối cùng đem sấy ở 80 °C trong 10 giờ. Chất bột thu được là  $BaTiO_3$ .

**Tổng hợp  $SnO_2/BaTiO_3$ :** vật liệu  $SnO_2/BaTiO_3$  được điều chế bằng phương pháp thủy nhiệt. Hỗn hợp  $SnO_2$  và  $BaTiO_3$  được trộn theo tỉ lệ khối lượng  $SnO_2:BaTiO_3$  là 1:3; 1:5; 1:7. Nghiền hỗn hợp đến độ mịn cần thiết. Hỗn hợp thu được đem phân tán trong 100 mL nước cất, khuấy liên tục bằng máy khuấy từ trong 4 giờ cho đồng nhất. Chuyển toàn bộ dung dịch vào bộ thủy nhiệt autoclave, đậy kín và đun nóng ở nhiệt độ 200 °C trong 24 giờ. Tiếp tục đem ly tâm lấy chất rắn, rửa nhiều lần bằng nước cất đến pH = 7 và rửa bằng ethanol, sau đó đem sấy khô ở 80 °C trong 24 giờ. Chất rắn thu được kí hiệu SBTO-1:3, SBTO-1:5, SBTO-1:7 tương ứng với thành phần khối lượng của  $SnO_2$  và  $BaTiO_3$ .

### Phương pháp đặc trưng

Nhiễu xạ tia X (XRD) của các mẫu được đo trên máy Bruker 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) của mẫu vật liệu được ghi trên máy GX - PerkinElmer. Phổ tán xạ năng lượng tia X (EDS) và ảnh hiển vi điện tử quét (SEM) được đo trên máy Nova Nano SEM 450. Nồng độ dung dịch MB được xác định bằng phương pháp đo quang trên máy UV-vis Jenway 6800.

### Khảo sát hoạt tính xúc tác quang

Để đánh giá hoạt tính quang xúc tác của các vật liệu, methylene blue (MB) được chọn làm chất ô nhiễm hữu cơ. Lấy 0,05 gam mẫu  $SnO_2/BaTiO_3$  phân tán trong 120 mL dung dịch MB 10 mg/L, dung dịch được khuấy liên tục bằng máy khuấy từ và giữ yên 90 phút trong bóng tối để đạt trạng thái cân bằng hấp phụ-giải hấp phụ. Sau khoảng thời gian này, dung dịch được chiếu xạ bằng ánh sáng mặt trời. Thời gian chiếu sáng bắt đầu từ 11 giờ đến 14 giờ 30 phút trong ngày, cùng thời

điểm đối với tất cả các mẫu. Điều kiện thí nghiệm không dùng và cả có dùng kính lọc tia UV. Sự suy giảm nồng độ MB được theo dõi sau các khoảng thời gian chiếu sáng mỗi 30 phút/lần. Nồng độ dung dịch MB của quá trình quang xúc tác được xác định dựa vào đường chuẩn thiết lập bởi mối quan hệ giữa độ hấp thụ quang theo nồng độ 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:

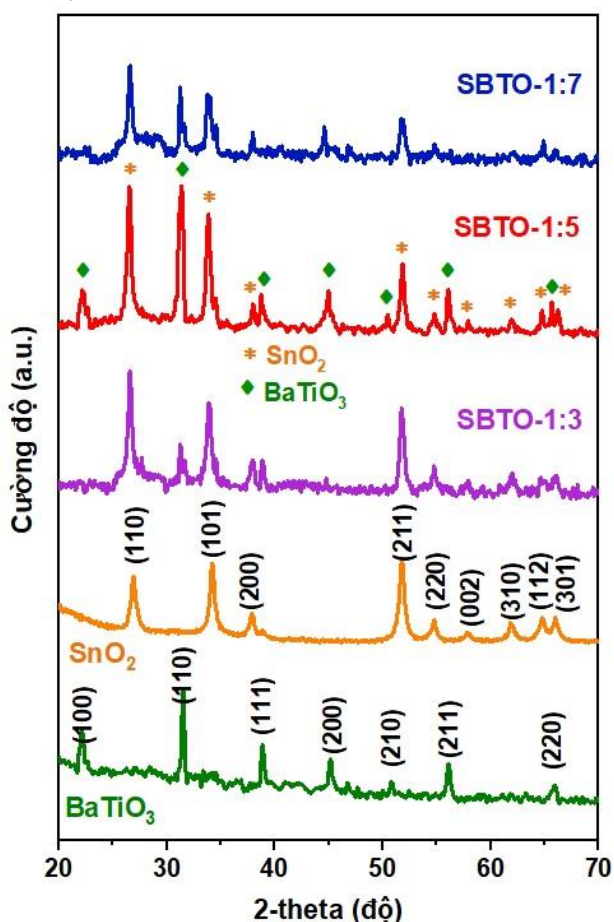
$$H = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\%$$

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.

### Kết quả và thảo luận

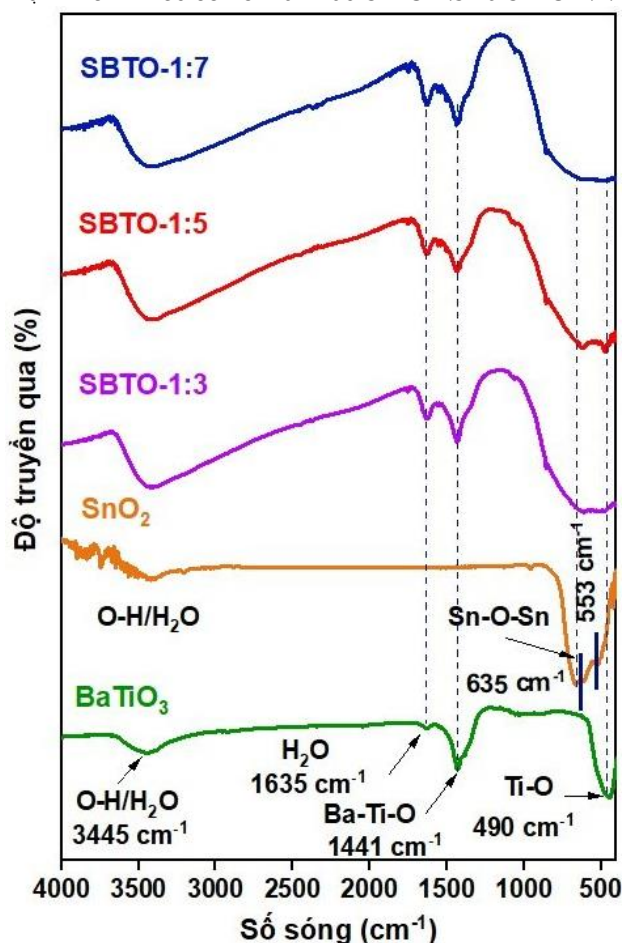
#### Đặc trưng vật liệu

Kết quả đặc trưng nhiễu xạ XRD của các mẫu  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{BaTiO}_3$  và SBTO-1:3, SBTO-1:5, SBTO-1:7 được bày ở Hình 1.



Hình 1: Giản đồ nhiễu xạ XRD của các mẫu vật liệu SBTO-1:3, SBTO-1:5, SBTO-1:7,  $\text{BaTiO}_3$  và  $\text{SnO}_2$

Trên giản đồ XRD cho thấy, đối với mẫu  $\text{SnO}_2$  có cấu trúc kiểu rutile theo thẻ chuẩn JCPDS 41-1445 [11] với các mặt nhiễu xạ (110), (101), và (211) có cường độ mạnh tại  $2\theta = 26,79^\circ$ ;  $34,31^\circ$  và  $51,78^\circ$  tương ứng [12-14]. Các mặt nhiễu xạ khác của  $\text{SnO}_2$  như (200), (220), (002), (310), (112) và (301) tại  $2\theta = 37,95^\circ$ ;  $54,78^\circ$ ;  $57,71^\circ$ ;  $61,84^\circ$ ;  $64,62^\circ$  và  $66,10^\circ$  tương ứng cũng xuất hiện với cường độ yếu hơn [13, 14]. Đối với mẫu  $\text{BaTiO}_3$ , hiển thị đầy đủ các peak tại  $2\theta = 22,16^\circ$ ;  $31,50^\circ$ ;  $38,82^\circ$ ;  $45,09^\circ$ ;  $50,75^\circ$ ;  $56,07^\circ$  và  $65,87^\circ$  tương ứng với các mặt nhiễu xạ (100), (110), (111), (200), (210), (211) và (220), đây là nhiễu xạ đặc trưng của  $\text{BaTiO}_3$  cấu trúc tứ giác theo thẻ chuẩn JCPDS No. 05-0626 [15, 16]. Đối với các mẫu SBTO, mẫu SBTO-1:5 chứa đầy đủ các nhiễu xạ của  $\text{SnO}_2$  và  $\text{BaTiO}_3$ . Ngoài ra, trên mẫu này không thấy xuất hiện pha tinh thể của bất kì chất khác. Điều này chứng tỏ, mẫu SBTO-1:5 chỉ gồm hai thành phần là  $\text{SnO}_2$  và  $\text{BaTiO}_3$ . Với hai mẫu SBTO còn lại, các nhiễu xạ của  $\text{SnO}_2$  và  $\text{BaTiO}_3$  hiển thị không đầy đủ và khá yếu. Mặt khác, mẫu SBTO-1:5 có cường độ nhiễu xạ mạnh hơn nhiều so với hai mẫu SBTO-1:3 và SBTO-1:7.



Hình 2: Phổ IR của các mẫu vật liệu  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{BaTiO}_3$ , SBTO-1:3, SBTO-1:5, SBTO-1:7

Với kết quả này, mẫu SBTO-1:5 có thể được xem là mẫu tốt nhất trong số các mẫu SBTO được tổng hợp.

Phổ hồng ngoại của các mẫu  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{BaTiO}_3$ , SBTO-1:3, SBTO-1:5 và SBTO-1:7 được trình bày ở Hình 2.

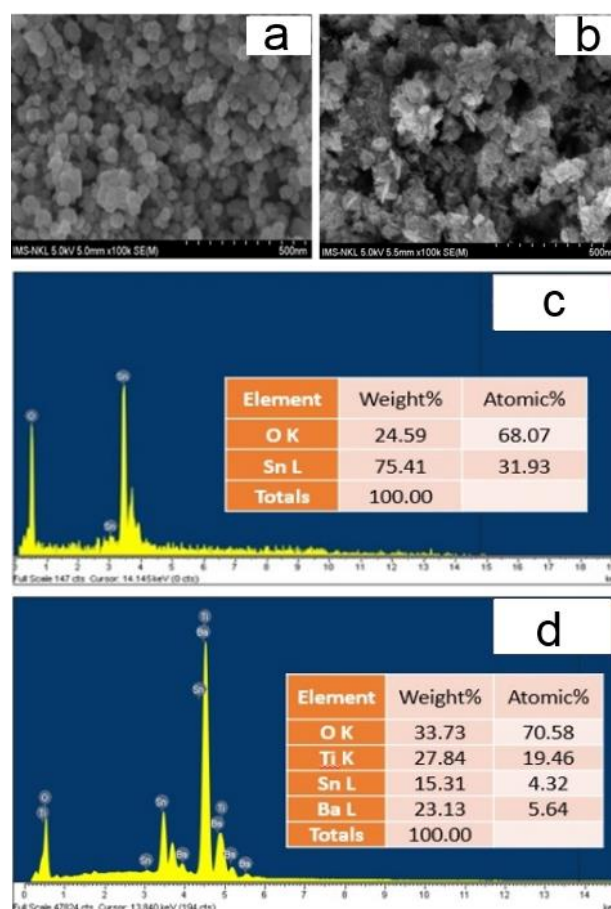
Đối với  $\text{SnO}_2$ , một dải hấp thụ rộng ở số sóng khoảng  $3300\text{--}3500\text{ cm}^{-1}$  và  $1632\text{ cm}^{-1}$  là dao động hóa trị của liên kết O-H của các phân tử  $\text{H}_2\text{O}$  hấp phụ trên bề mặt các hạt vật liệu [13, 17, 18]. Vùng có số sóng thấp ở  $635\text{ cm}^{-1}$  và  $553\text{ cm}^{-1}$  là dao động đặc trưng của liên kết Sn-O-Sn phản đối xứng và đối xứng [18, 19]. Đối với mẫu  $\text{BaTiO}_3$ , một dải hấp thụ rộng ở  $3445\text{ cm}^{-1}$  được quy cho dao động hóa trị của liên kết O-H của các phân tử  $\text{H}_2\text{O}$  hấp phụ trên bề mặt các hạt vật liệu và dao động của các liên kết hydro giữa chúng [20]. Một peak khác được quan sát thấy ở số sóng  $1634\text{ cm}^{-1}$  cũng là dao động của các phân tử nước vật lý [21]. Hai peak mạnh ở  $1441\text{ cm}^{-1}$  và  $490\text{ cm}^{-1}$  là dao động của liên kết Ba-Ti-O và Ti-O, tương ứng [21, 22]. Đối với các mẫu SBTO-1:3 và SBTO-1:7, không xuất hiện dao động đặc trưng của liên kết Sn-O-Sn và Ti-O. Tuy nhiên, trên mẫu SBTO-1:5 hiển thị đầy đủ các dao động đặc trưng của các liên kết này của  $\text{SnO}_2$  và  $\text{BaTiO}_3$ . Điều này chứng tỏ, đã có sự tương tác giữa các đơn phân  $\text{SnO}_2$  và  $\text{BaTiO}_3$  trong mẫu SBTO-1:5. Kết quả này hoàn toàn phù hợp với kết quả thu được từ nhiễu xạ XRD.

Từ kết quả đặc trưng XRD và IR chứng tỏ rằng, mẫu SBTO-1:5 là mẫu tốt nhất hình thành vật liệu  $\text{SnO}_2/\text{BaTiO}_3$ . Vì vậy, nhóm tác giả chọn mẫu này để khảo sát các đặc trưng tiếp theo.

Từ Hình 3a cho thấy,  $\text{SnO}_2$  là các hạt hình cầu khá đồng đều, có kích thước khoảng 50 nm (tính theo thang đo). Các hạt sắp xếp theo một trật tự nhất định và có độ phân tán tốt. Dạng hạt hình cầu tạo nên nhiều lỗ xốp phân bố khá đồng đều trên bề mặt vật liệu. Ở Hình 3b, bề mặt mẫu vật liệu SBTO-1:5 khá gồ ghề, khác xa với bề mặt của  $\text{SnO}_2$ . Điều này làm tăng diện tích bề mặt của mẫu vật liệu SBTO-1:5. Những thay đổi này là do sự có mặt của  $\text{BaTiO}_3$  trong vật liệu SBTO gây ra.

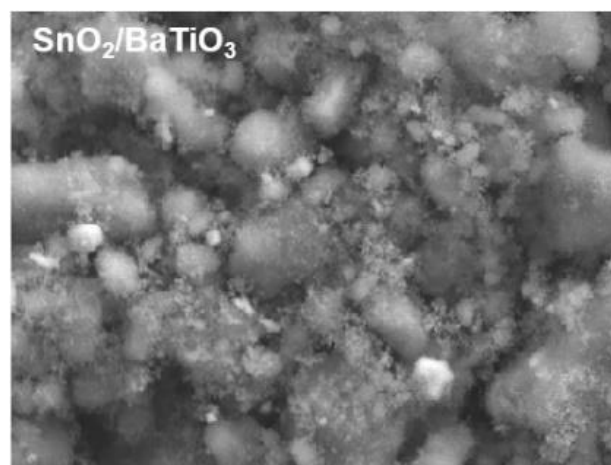
Thành phần nguyên tố của các mẫu  $\text{SnO}_2$ , SBTO-1:5 được đặc trưng bởi phổ tán xạ năng lượng tia X (EDS), kết quả được trình bày ở Hình 3c-d. Trên phổ tán xạ năng lượng tia X của các mẫu  $\text{SnO}_2$  và SBTO-1:5, về mặt định tính chỉ xuất hiện peak của các nguyên tố thành phần tương ứng của  $\text{SnO}_2$  và SBTO-1:5 mà không thấy xuất hiện peak của bất kì nguyên tố nào khác. Kết quả này rất phù hợp với phương pháp đặc trưng XRD và IR. Đây là một trong những minh chứng bổ sung, chứng minh thêm cho sự tổng hợp thành công vật liệu  $\text{SnO}_2/\text{BaTiO}_3$ . Cũng theo phương pháp

đặc trưng này, thành phần khối lượng của các nguyên tố trong các mẫu cũng được xác định (Hình 3c-d).

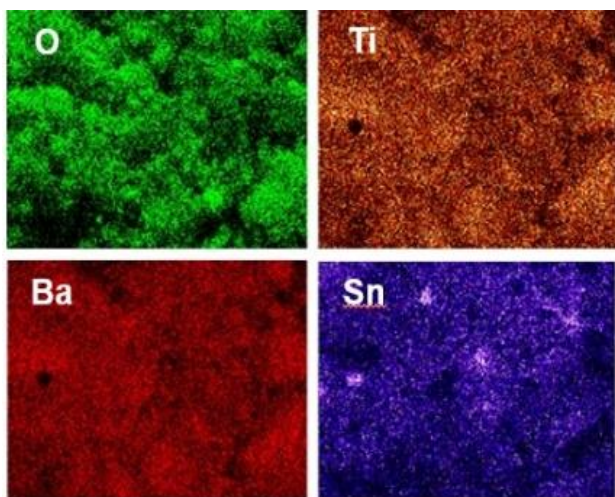


Hình 3: Ảnh SEM của vật liệu  $\text{SnO}_2$  (a), SBTO-1:5 (b) và Phổ EDS của mẫu vật liệu  $\text{SnO}_2$  (c), SBTO-1:5 (d)

Ngoài ra, sự phân bố của các nguyên tố trong mẫu SBTO-1:5 cũng được kiểm tra bằng kỹ thuật EDS-mapping (Hình 4). Từ hình này cho thấy, sự phân bố của các nguyên tố O, Ti, Sn và Ba khá đồng nhất trong mẫu vật liệu SBTO-1:5.

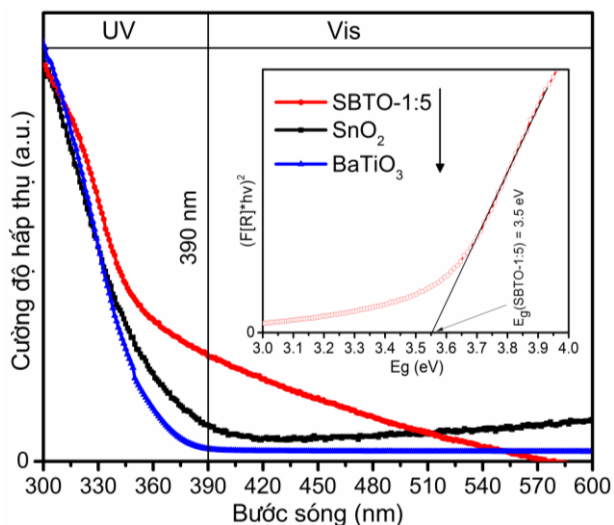






Hình 4: Sự phân bố của các nguyên tố trong vật liệu SnO<sub>2</sub>/BaTiO<sub>3</sub> bằng kỹ thuật mapping

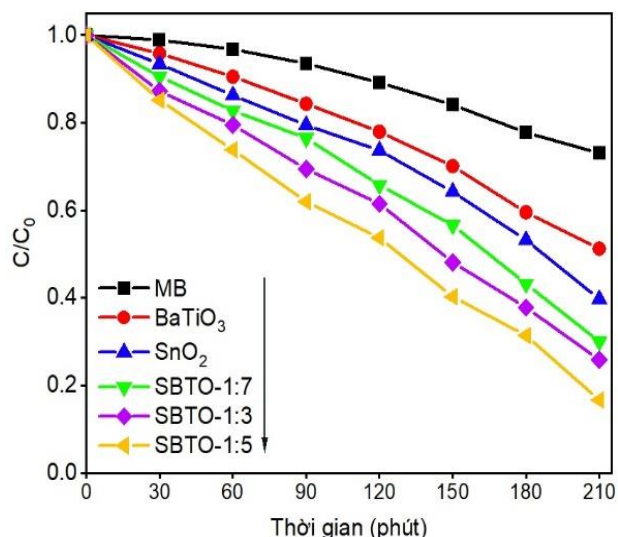
Phổ UV-vis DRS của các vật liệu được trình bày ở Hình 5. Từ hình này cho thấy, bờ hấp thụ ánh sáng của vật liệu SBTO-1:5 chủ yếu nằm trong vùng UVA có bước sóng từ >300 nm đến 390 nm và một phần nhỏ trải dài sang vùng khả kiến ở bước sóng <540 nm. Trên cơ sở của phương pháp đặc trưng này, năng lượng vùng cấm của mẫu vật liệu SBTO-1:5 cũng được xác định, E<sub>g</sub> = 3,5 eV.



Hình 5: Phổ UV-vis DRS của các vật liệu SnO<sub>2</sub>, BaTiO<sub>3</sub>, SBTO-1:5 (hình lớn) và năng lượng vùng cấm SBTO-1:5 (hình nhỏ) của các mẫu vật liệu

#### Khảo sát hoạt tính xúc tác quang

Hoạt tính xúc tác quang của quá trình phân hủy MB (10 mg/L) bởi ánh sáng mặt trời của các vật liệu được trình bày ở Hình 6.

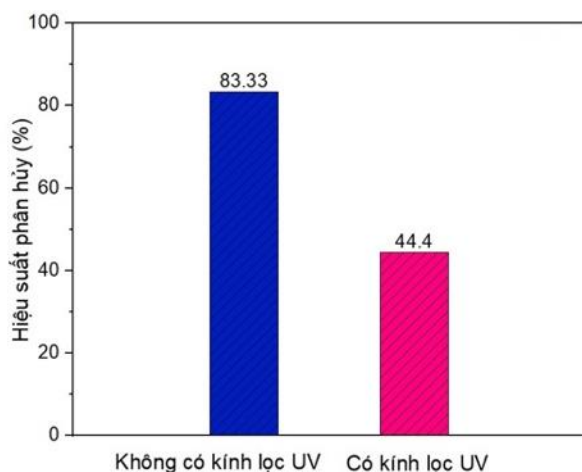


Hình 6: Sự phân hủy MB bởi các vật liệu SnO<sub>2</sub>, BaTiO<sub>3</sub> và SBTO dưới sự chiếu xạ của mặt trời không dùng kính lọc tia UV (lượng xúc tác 0,05 gam, MB 10 mg/L)

Từ Hình 6 cho thấy, các mẫu vật liệu SBTO có hoạt tính xúc tác quang vượt trội so với SnO<sub>2</sub> và BaTiO<sub>3</sub> riêng lẻ. Cụ thể, sau 210 phút chiếu sáng, hiệu suất quang phân hủy MB bởi mẫu vật liệu SBTO-1:5 đạt 83,33%, giá trị này cao hơn nhiều so với mẫu SBTO-1:3 (đạt 74,11%) và mẫu SBTO-1:7 (đạt 70%). Trong khi đó hiệu suất quang phân hủy MB của SnO<sub>2</sub> chỉ đạt 60,26% và BaTiO<sub>3</sub> đạt 48,76% ở cùng điều kiện khảo sát. Sự tăng cường hoạt tính xúc tác quang của mẫu vật liệu SBTO được giải thích là do tác dụng hiệp trợ của SnO<sub>2</sub> và BaTiO<sub>3</sub> trong các mẫu vật liệu SBTO. Sự hiện diện của SnO<sub>2</sub> trong các mẫu SBTO đã khắc phục được nhược điểm tái kết hợp electron – lỗ trống quang sinh xảy ra trong vật liệu bán dẫn riêng lẻ, vì vậy làm tăng hoạt tính xúc tác quang của vật liệu này mà đặc biệt là tăng mạnh đối với mẫu SBTO-1:5.

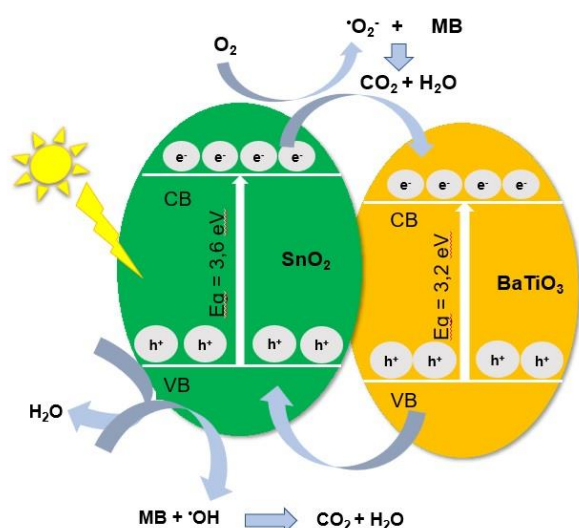
Khảo sát ảnh hưởng của nguồn sáng là ánh sáng mặt trời không hoặc có kính lọc tia UV, kết quả được trình bày ở Hình 7.

Từ Hình 7 cho thấy, ở điều kiện chiếu sáng không kính lọc UV hoặc có kính lọc UV, hiệu quả quang phân hủy MB của SBTO-1:5 rất khác nhau. Cụ thể từ 83,33% (không dùng kính lọc tia UV) giảm xuống còn 44,44% (có dùng kính lọc tia UV). Điều này chứng tỏ, mẫu vật liệu SBTO-1:5 thể hiện hoạt tính xúc tác quang mạnh dưới sự chiếu xạ của ánh sáng mặt trời tự nhiên. Đây là một lợi thế, làm tăng khả năng ứng dụng của vật liệu này vào thực tiễn phân hủy chất hữu cơ gây ô nhiễm, làm sạch môi trường nước.



Hình 7: Hiệu suất quang phân hủy MB (lượng xúc tác 0,05 gam, MB 10 mg/L) bởi mẫu vật liệu SBTO-1:5 dưới sự chiếu xạ của mặt trời không và có kính lọc tia UV

Trên cơ sở một số tài liệu đã được công bố [8], sự giải thích quá trình giảm tải kết hợp electron–lỗ trống quang sinh của vật liệu SnO<sub>2</sub>/BaTiO<sub>3</sub> được đề xuất ở Hình 8.



Hình 8: Sơ đồ giải thích cơ chế phân tách electron– lỗ trống quang sinh của vật liệu SnO<sub>2</sub>/BaTiO<sub>3</sub> dưới chiếu xạ ánh sáng mặt trời [8]

## Kết luận

Như vậy, bằng phương pháp thủy nhiệt đơn giản đã tổng hợp được vật liệu SnO<sub>2</sub>/BaTiO<sub>3</sub>. Kích thước, hình thái, thành phần và tính chất quang xúc tác của vật liệu SnO<sub>2</sub>/BaTiO<sub>3</sub> dị cấu trúc được điều chỉnh bằng cách thay đổi tỉ lệ khối lượng của SnO<sub>2</sub> và BaTiO<sub>3</sub>. Vật liệu SnO<sub>2</sub>/BaTiO<sub>3</sub> được tổng hợp với tỉ lệ khối lượng SnO<sub>2</sub>:BaTiO<sub>3</sub> = 1:5 cho hiệu suất quang phân hủy MB cao nhất dưới bức xạ ánh sáng mặt trời. Điều này cho thấy, khả năng sử dụng vật liệu này trong việc xử lý nước là rất khả thi. Dự kiến, nghiên cứu này sẽ mở ra

một lộ trình mới cho việc phát triển các chất xúc tác quang dị cấu trúc với hiệu quả vượt trội, ứng dụng vào việc thanh lọc các chất hữu cơ gây ô nhiễm môi trường nước.

## Lời cảm ơn

Các tác giả chân thành cảm ơn đề tài cấp Bộ mã số B2021-DQN-05 đã tài trợ một phần kinh phí cho việc thực hiện bài báo này.

## Tài liệu tham khảo

1. Danilo spasiano, Raffaele Marotta, Sixto Malato, Pilar Fernandez-Ibanez, Ilaria Di Somma, Applied Catalysis B: Environmental 170–171 (2015) 90–123. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2014.12.050>
2. Harsha Bantawal and D Krishna Bhat, International Journal of Engineering & Technology 7 (2018) 105–109. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.5.20022>
3. Abdel-Messih, M. F., Ahmed, M. A., & El-Sayed, A. S., Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry 260 (2013) 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2013.03.011>
4. H. Fan, H. Li, B. Liu, Y. Lu, T. Xie, D. Wang, ACS Appl. Mater. Interfaces 4(9) (2012) 4853–4857. <https://doi.org/10.1021/am301199v>
5. T. Xian, H. Yang, L.J. Di, J.F. Dai, Journal of Alloys and Compounds 622 (2015) 1098–1104. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2014.11.051>
6. S.E. Stanca, R. Muller, M. Urban, A. Csaki, F. Froehlich, C. Krafft, J. Popp, W. Fritzsche, Catalysis Science & Technology 2 (2012) 1472–1479. <https://doi.org/10.1039/C2CY20169K>
7. Manoj Nageri , A. B. Shalet, Viswanathan Kumar, Journal of Materials Science: Materials in Electronics 28(13) (2017) 9770–9776. <https://doi.org/10.1007/s10854-017-6729-5>
8. S. Selvarajan, P. Malathy, A. Suganthi, M. Rajarajan, Journal of Industrial and Engineering Chemistry 53 (2017) 201–212. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2017.04.026>
9. Duran-Jimenez .G, Hernandez-Montoya V., Montes-Moran M. A., Bonilla Petriciolet A. and Rangel-Vazquez N. A. Microporous and Mesoporous Materials 199 (2014) 99–107. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2014.08.013>

10. Fu J., Xu Z., Li Q. S., Chen S., An S. Q. and Zeng Q. F, *J. Environ. Sci.* 22 (2010) 512–518.  
[https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(09\)60142-X](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(09)60142-X)
11. Kim S. P., Choi M. Y., & Choi H. C, *Materials Research Bulletin* 74 (2016) 85–89.  
<https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2015.10.024>
12. P. Thiru Ramanathan, M. Sheik Abdullah and L. Amalraj, *Journal for Bloomers of Research* 5(2) (2013) 651–655.  
<https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2004.08.006>
13. Jing Wang, Hui-qing Fan and Hua-wa Yu, *Journal of Nanomaterials* 2015 (2015) 1–8.  
<https://doi.org/10.1155/2015/395483>
14. Weigen Chen, Qu Zhou, FuWan, and Tuoyu Gao, *Journal of Nanomaterials* 2012 (2012) 1–9.  
<https://doi.org/10.1155/2012/612420>
15. Pengrong Ren, Huiqing Fan, Xin Wang, *Catalysis Communications* 25 (2012) 32–35.  
<https://doi.org/10.1016/j.catcom.2012.04.003>
16. S. Kappadan, S. Thomas, N. Kalarikkal, *Materials Chemistry and Physics* 255 (2020) 123583.  
<https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2020.123583>
17. Selvi N., Sankar S., & Dinakaran K, *Superlattices and Microstructures* 76 (2014) 277–287.  
<https://doi.org/10.1016/j.spmi.2014.10.015>
18. Wenjin Wan, Yuehua Li, Xingping Ren, Yiping Zhao, Fan Gao and Heyun Zhao *Nanomaterials* 8(2) (2018) 112.  
<https://doi.org/10.3390/nano8020112>
19. Shuang Zhan, Dongmei Li, Shengfa Liang, Xin Chen and Xia Li, *Sensors* 13(4) (2013) 4378–4389.  
<https://doi.org/10.3390/s130404378>
20. Ni Y, Zheng H, Xiang N, Yuan K and Hong J, *RSC Adv.* 5(10) (2015) 7245–7252.  
<https://doi.org/10.1039/C4RA13642J>
21. Kappadan S, Gebreab T W, Thomas S and Kalarikkal N, *Mater. Sci. Semicond. Process.* 51 (2016) 42–47.  
<https://doi.org/10.1016/j.mssp.2016.04.019>
22. Wang P, Fan C, Wang Y, Ding G and Yuan P, *Mater. Res. Bull.*, 48 (2013), 869–877.  
<https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2012.11.075>