

## TỔNG HỢP VẬT LIỆU XÚC TÁC QUANG COMPOZIT $\text{BiVO}_4/\text{Ta}_2\text{O}_5/\text{g-C}_3\text{N}_4$ NHẪM ỨNG DỤNG PHÂN HỦY CÁC CHẤT HỮU CƠ Ô NHIỄM

Đến tòa soạn 30-10-2019

**Mai Hùng Thanh Tùng**

Trường Đại học Công nghiệp Thực phẩm TP HCM, Việt Nam

**Nguyễn Thị Phương Lệ Chi**

Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học quốc gia Hà Nội, Việt Nam

**Nguyễn Thị Diệu Cẩm**

Trường Đại học Quy Nhơn, Việt Nam

### SUMMARY

#### SYNTHESIS OF $\text{BiVO}_4/\text{Ta}_2\text{O}_5/\text{g-C}_3\text{N}_4$ COMPOSITE PHOTOCATALYST APPLYING FOR THE TREATMENT OF POLLUTED ORGANIC COMPOUND

*$\text{BiVO}_4/\text{Ta}_2\text{O}_5/\text{g-C}_3\text{N}_4$  (BTC) multiphase composite photocatalysts were synthesized by hydrothermal and solid-phase methods for photocatalytic degradation of rhodamine B (RhB) under visible light irradiation. The physical and photophysical properties of the  $\text{g-C}_3\text{N}_4$ ,  $\text{BiVO}_4$ ,  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  and  $\text{BiVO}_4/\text{Ta}_2\text{O}_5/\text{g-C}_3\text{N}_4$  hybrid materials were investigated by X-ray diffraction (XRD), ultraviolet-visible absorption spectroscopy (UV-Vis), photoluminescent spectroscopy (PL), and transmission electron microscopy (TEM). We also investigated that photocatalytic performance of these BTC materials were highly dependent on the weight ratio of these used precursors. The optimized  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}:\text{BiVO}_4:\text{Ta}_2\text{O}_5$  weight ratio for a dramatic photocatalytic enhancement of the BTC was 4:1:1 (BTC-4).*

**Keywords:**  $\text{BiVO}_4$ ,  $\text{g-C}_3\text{N}_4$ ,  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ , visible light, photocatalytic activity, rhodamine B, recombination.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Gần đây, graphit cacbon nitrua ( $\text{g-C}_3\text{N}_4$ , một dạng chất bán dẫn polyme hữu cơ không kim loại, có cấu trúc lớp như graphen) và bitmut octovanadat ( $\text{BiVO}_4$ ) đã thu hút nhiều sự quan tâm nghiên cứu trong việc ứng dụng làm vật liệu xúc tác quang tách nước và phân hủy các chất hữu cơ ô nhiễm trong vùng ánh sáng nhìn thấy [1-9]. Các vật liệu này có lợi thế là năng lượng vùng cấm hẹp (lần lượt khoảng 2,7 và 2,4 eV) [4, 5, 8]. Tuy nhiên, cả  $\text{g-C}_3\text{N}_4$  và  $\text{BiVO}_4$  tinh khiết đều có tốc độ tái tổ hợp cặp điện tử và lỗ trống quang sinh khá cao, dẫn đến hiệu quả quang xúc tác không thực sự cao trong vùng ánh sáng nhìn thấy. Để khắc phục nhược điểm trên, nhiều nhà khoa học đã nghiên

cứu biến tính  $\text{g-C}_3\text{N}_4$  và  $\text{BiVO}_4$  bằng nhiều tác nhân biến tính khác nhau. Đặc biệt, trong thời gian gần đây, các vật liệu  $\text{g-C}_3\text{N}_4$  và  $\text{BiVO}_4$  được nghiên cứu lai ghép với các vật liệu bán dẫn khác tạo ra các hệ vật liệu lai ghép thế hệ mới như  $\text{g-C}_3\text{N}_4/\text{TiO}_2/\text{BiVO}_4$ ,  $\text{g-C}_3\text{N}_4/\text{CNT}/\text{BiVO}_4$ ,  $\text{g-C}_3\text{N}_4/\text{Ag}/\text{BiVO}_4$  nhằm làm giảm sự tái tổ hợp các cặp electron và lỗ trống quang sinh, dẫn đến làm tăng hoạt tính quang xúc tác của các vật liệu lai ghép. Các kết quả nghiên cứu thu được cho thấy, các vật liệu lai ghép thế hệ mới đều có hoạt tính quang xúc tác cao hơn nhiều so với các hợp phần riêng lẻ trong vùng ánh sáng nhìn thấy [10-13].

Như vậy, việc biến tính  $\text{g-C}_3\text{N}_4$  và  $\text{BiVO}_4$  bằng

các tác nhân biến tính phù hợp sẽ làm giảm sự tái tổ hợp của cặp electron và lỗ trống quang sinh của các vật liệu bán dẫn này dẫn đến gia tăng hiệu quả quang xúc tác của chúng trong vùng ánh sáng nhìn thấy. Trong nghiên cứu này, để khắc phục nhược điểm của từng vật liệu riêng lẻ, chúng tôi tiến hành tổng hợp vật liệu xúc tác quang composit  $\text{BiVO}_4/\text{Ta}_2\text{O}_5/\text{g-C}_3\text{N}_4$  nhằm khắc phục những nhược điểm nêu trên, phát huy hiệu quả quang xúc tác của chúng trong vùng ánh sáng nhìn thấy.

## 2. THỰC NGHIỆM

### 2.1. Tổng hợp vật liệu

#### 2.1.1. Tổng hợp vật liệu $\text{g-C}_3\text{N}_4$ từ ure

Cho urê vào cối mã não nghiền mịn, sau đó cho vào chén sứ, bọc kín bằng nhiều lớp giấy trắng nhôm (nhằm ngăn cản sự thăng hoa của tiền chất cũng như làm tăng cường sự ngưng kết tạo thành  $\text{g-C}_3\text{N}_4$ ), nung nóng ở  $530^\circ\text{C}$  trong 1 giờ với tốc độ gia nhiệt  $5^\circ\text{C}/\text{phút}$ . Sau đó, lò được để nguội tự nhiên đến nhiệt độ phòng, thu được bột màu vàng là  $\text{g-C}_3\text{N}_4$ .

#### 2.1.2. Tổng hợp vật liệu $\text{BiVO}_4$

5 mmol  $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  được hòa tan hoàn toàn trong 10 mL axit nitric, khuấy liên tục trong 30 phút. Đồng thời, 5 mmol  $\text{NH}_4\text{VO}_3$  cũng được đem hòa tan hoàn toàn trong 60 mL nước nóng ở  $80^\circ\text{C}$ . Cho dung dịch  $\text{NH}_4\text{VO}_3$  vào dung dịch  $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$ , đem siêu âm trong 20 phút và khuấy trong 30 phút. Sau khi hình thành dung dịch huyền phù màu vàng, điều chỉnh giá trị pH đến 9 bằng dung dịch  $\text{NH}_3$ .

Hỗn hợp bột nhão được khuấy liên tục trong 2 giờ, đem thủy nhiệt trong bình Teflon ở nhiệt độ  $140^\circ\text{C}$  và duy trì trong 20 giờ. Bột nhão thu được đem ly tâm, rửa bằng nước cất hai lần và ethanol, sấy khô trong không khí ở  $60^\circ\text{C}$  trong 12 giờ. Mẫu bột sau khi sấy đem nung ở  $600^\circ\text{C}$  trong 2 giờ với tốc độ gia nhiệt  $5^\circ\text{C}/\text{phút}$ , thu được vật liệu  $\text{BiVO}_4$  [14].

#### 2.1.3. Tổng hợp vật liệu composit $\text{BiVO}_4/\text{Ta}_2\text{O}_5/\text{g-C}_3\text{N}_4$

Tiền chất bột  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  (99,9% - Sigma Aldrich) và  $\text{BiVO}_4$  được cho vào bình Teflon, quá trình thủy nhiệt được duy trì ở  $140^\circ\text{C}$  trong 2 giờ,

sau đó để nguội tự nhiên đến nhiệt độ phòng. Hỗn hợp sau khi thủy nhiệt đem ly tâm, rửa sạch bằng nước cất nhiều lần và sấy khô ở nhiệt độ  $80^\circ\text{C}$  trong 12 giờ. Sản phẩm thu được đem nghiền mịn với ure theo tỉ lệ khối lượng  $(\text{NH}_2)_2\text{CO} : \text{BiVO}_4 : \text{Ta}_2\text{O}_5$  là  $x : 1 : 1$ , sau đó cho vào chén sứ, bọc kín bằng nhiều lớp giấy trắng nhôm, nung ở  $530^\circ\text{C}$  trong 2 giờ với tốc độ gia nhiệt  $5^\circ\text{C}/\text{phút}$ . Sau đó, lò được làm nguội tự nhiên đến nhiệt độ phòng, thu được vật liệu  $\text{BiVO}_4/\text{Ta}_2\text{O}_5/\text{g-C}_3\text{N}_4$ .

### 2.2. Đặc trưng vật liệu

Vật liệu được khảo sát hình ảnh bề mặt bằng phương pháp hiển vi điện tử truyền qua (JEOL TEM-2010F). Thành phần pha được xác định bằng phương pháp nhiễu xạ tia X (D8-Advance 5005). Khả năng hấp thụ ánh sáng của xúc tác được đặc trưng bằng phương pháp phổ phản xạ khuếch tán từ ngoại – khả kiến (3101PC Shimadzu). Đặc trưng khả năng tái tổ hợp của các cặp điện tử và lỗ trống quang sinh trong vật liệu bằng phương pháp huỳnh quang (Horiba fluoromax-4).

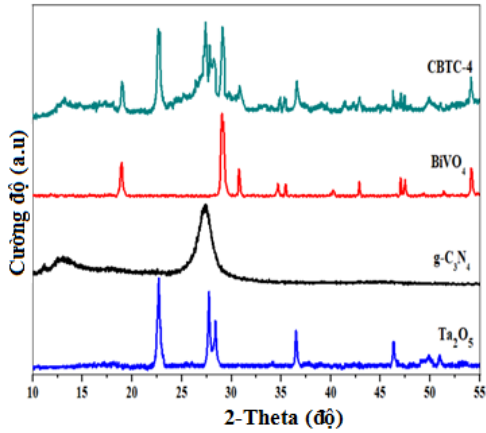
### 2.3. Thí nghiệm phân hủy RhB

Cho 0,1 g xúc tác và 200 mL dung dịch RhB 10 mg/L vào cốc 250 mL, dùng giấy bạc bọc kín cốc sau đó khuấy đều cốc trên máy khuấy từ trong 2 giờ để cho quá trình hấp phụ - giải hấp phụ cân bằng. Gỡ giấy bạc và tiếp tục khuấy đều cốc hồ dưới điều kiện ánh sáng đèn led (220V - 30W). Sau thời gian nhất định, dung dịch RhB được lấy đem ly tâm (tốc độ 6000 vòng/phút trong 15 phút), nồng độ RhB còn lại được xác định bằng phương pháp trắc quang ở bước sóng 553 nm trên máy UV - Vis (CE-2011).

## 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

### 3.1. Đặc trưng vật liệu

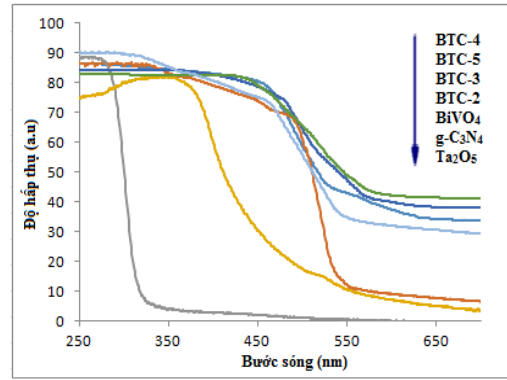
Để xác định các hợp phần có trong vật liệu tổng hợp, các vật liệu  $\text{g-C}_3\text{N}_4$ ,  $\text{BiVO}_4$ ,  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  và  $\text{BiVO}_4/\text{Ta}_2\text{O}_5/\text{g-C}_3\text{N}_4$  được đặc trưng bằng phương pháp nhiễu xạ tia X, kết quả được trình bày ở Hình 1.



Hình 1. Giản đồ nhiễu xạ tia X của vật liệu  $g-C_3N_4$ ,  $BiVO_4$ ,  $Ta_2O_5$  và  $BTC-4$

Từ giản đồ nhiễu xạ tia X ở Hình 1 của các vật liệu  $g-C_3N_4$ ,  $BiVO_4$  và  $g-C_3N_4/BiVO_4$  cho thấy, trên giản đồ nhiễu xạ tia X của vật liệu  $g-C_3N_4$  xuất hiện đỉnh nhiễu xạ có cường độ mạnh ở vị trí  $2\theta$  bằng  $27,401^\circ$  là do sự sắp xếp của các hệ thống liên hợp thơm, tương ứng với mặt tinh thể (002), đỉnh nhiễu xạ có cường độ rất thấp ở  $2\theta$  bằng  $13,012^\circ$  là do sự sắp xếp tuần hoàn các đơn vị tri-s-triazin trong mặt phẳng tinh thể (001) (Theo thẻ chuẩn JCPDS: 87-1526) [15, 16]. Giản đồ nhiễu xạ tia X của vật liệu  $BiVO_4$  có hai đỉnh nhiễu xạ rõ nét, đỉnh nhiễu xạ có cường độ mạnh nhất ở vị trí  $28,82^\circ$  tương ứng với mặt tinh thể (112), đỉnh có cường độ thấp hơn ở vị trí  $30,60^\circ$  tương ứng với mặt phẳng (004). Bên cạnh đó còn có sự xuất hiện của các đỉnh có cường độ thấp ở các vị trí  $34,51^\circ$ ;  $48,43^\circ$ ;  $54,20^\circ$  và  $60,21^\circ$  tương ứng với mặt tinh thể (200), (024), (116), (026) (theo thẻ chuẩn JCPDS: 75-2480) ứng với cấu trúc scheelite monoclinic (s-m) của  $BiVO_4$  [17]. Đối với  $Ta_2O_5$ , trên giản đồ XRD của vật liệu xuất hiện ba đỉnh có cường độ mạnh tại vị trí  $2\theta$  lần lượt là  $22,9^\circ$ ,  $28,4^\circ$  và  $36,7^\circ$ . Trong khi đó, giản đồ XRD của vật liệu  $BiVO_4/Ta_2O_5/g-C_3N_4$  xuất hiện các đỉnh nhiễu xạ đặc trưng cho cả ba hợp phần vật liệu  $g-C_3N_4$ ,  $BiVO_4$  và  $Ta_2O_5$ . Điều này chứng tỏ vật liệu lai ghép  $g-C_3N_4/BiVO_4$  đã được điều chế thành công.

Để đánh giá khả năng hấp thụ bức xạ của các hợp phần  $BiVO_4$ ,  $g-C_3N_4$ ,  $Ta_2O_5$  và các vật liệu  $BTC-x$ , các mẫu vật liệu được đặc trưng bằng phương pháp phổ phân xạ khuếch tán từ ngoài-khả kiến, kết quả được trình bày ở Hình 2.



Hình 2. Phổ hấp thụ UV-Vis mẫu rắn của vật liệu  $g-C_3N_4$ ,  $BiVO_4$ ,  $Ta_2O_5$  và  $BTC-x$

Kết quả ở Hình 2 cho thấy, phổ hấp thụ UV-Vis của vật liệu  $Ta_2O_5$  chỉ hấp thụ ánh sáng trong vùng tử ngoại, trong khi đó  $BiVO_4$  và  $g-C_3N_4$  có đỉnh và bờ hấp thụ đều nằm ở vùng ánh sáng khả kiến. Đối với các mẫu vật liệu composit  $BTC-x$  đều có sự dịch chuyển về vùng ánh sáng khả kiến mạnh hơn so với các hợp phần  $BiVO_4$ ,  $g-C_3N_4$  và  $Ta_2O_5$  riêng lẻ. Điều này, chứng tỏ vật liệu thu được có khả năng hoạt động mạnh trong vùng ánh sáng khả kiến. Trong đó, vật liệu  $BTC-4$  ứng với tỉ lệ khối lượng  $(NH_2)_2CO : BiVO_4 : Ta_2O_5$  là 4:1:1 có khả năng hấp thụ ánh sáng khả kiến mạnh nhất trong vùng khảo sát. Kết quả này cho phép dự đoán, các vật liệu composit  $BTC-x$  có hoạt tính quang xúc tác cao trong vùng ánh sáng khả kiến, hứa hẹn tiềm năng ứng dụng làm vật liệu xúc tác quang phân hủy các chất hữu cơ ô nhiễm trong môi trường nước dưới nguồn bức xạ mặt trời tự nhiên.

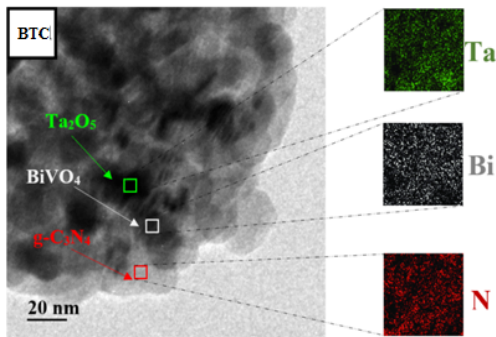
Giá trị năng lượng vùng cấm của các mẫu vật liệu  $BiVO_4$ ,  $g-C_3N_4$ ,  $Ta_2O_5$  và  $BTC-x$  được trình bày ở Bảng 1.

Bảng 1. Giá trị năng lượng vùng cấm của các vật liệu  $BiVO_4$ ,  $g-C_3N_4$ ,  $Ta_2O_5$  và  $BTC-x$

Vật liệu	Năng lượng vùng cấm (eV)
$g-C_3N_4$	2,71
$BiVO_4$	2,18
$Ta_2O_5$	3,92
$BTC-2$	2,51
$BTC-3$	2,46
$BTC-4$	2,40
$BTC-5$	2,44

Kết quả ở Bảng 1 cho thấy, các vật liệu compozit  $\text{BiVO}_4/\text{Ta}_2\text{O}_5/\text{g-C}_3\text{N}_4$  tổng hợp được có giá trị năng lượng vùng cấm khoảng từ 2,40 – 2,50 eV. Điều này cho thấy tiềm năng ứng dụng các vật liệu compozit BTC-x để phân hủy các chất hữu cơ ô nhiễm ngay trong vùng ánh sáng nhìn thấy.

Ảnh vi cấu trúc và sự phân bố các nguyên tố của vật liệu compozit BTC-4 tổng hợp được trình bày ở Hình 3. Các kết quả phân tích TEM thu được cho thấy, vật liệu  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ,  $\text{g-C}_3\text{N}_4$  và  $\text{BiVO}_4$  đã được lai ghép thành công tạo thành một hệ vật liệu dị thể ba thành phần. Trong hệ vật liệu lai ghép này, các hạt  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  và  $\text{BiVO}_4$  phân bố trên pha nền  $\text{g-C}_3\text{N}_4$ . Các hạt CBTC-4 tổng hợp có kích thước trung bình khoảng 100 nm.



Hình 3. Ảnh TEM và sự phân bố các nguyên tố trong vật liệu compozit CBTC-4

### 3.2. Hoạt tính quang xúc tác

Để đánh giá hoạt tính quang xúc tác của các vật liệu compozit tổng hợp được theo phương pháp thủy nhiệt kết hợp nhiệt pha rắn, chúng tôi thực hiện thí nghiệm phân hủy RhB trên các vật liệu compozit tổng hợp. Sau khi khuấy hỗn hợp vật liệu xúc tác và dung dịch RhB trong bóng tối 2 giờ để quá trình hấp phụ-giải hấp phụ đạt trạng thái cân bằng, quá trình khảo sát hoạt tính quang xúc tác được tiến hành. Kết quả được trình bày ở Bảng 2.

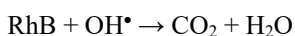
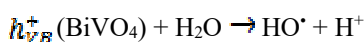
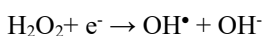
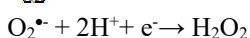
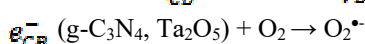
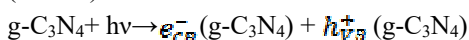
Bảng 2. Hiệu suất xử lý RhB trên các vật liệu  $\text{g-C}_3\text{N}_4$ ,  $\text{BiVO}_4$ ,  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  và BTC-x sau 90 phút

Vật liệu	Hiệu suất (%)
$\text{g-C}_3\text{N}_4$	44,92
$\text{BiVO}_4$	39,24
$\text{Ta}_2\text{O}_5$	13,89
BTC-2	46,25
BTC-3	60,67
BTC-4	90,27
BTC-5	73,57

Kết quả ở Bảng 2 chỉ ra rằng, khi so sánh bốn mẫu vật liệu compozit BTC-x tổng hợp ở bốn tỉ lệ khối lượng  $(\text{NH}_2)_2\text{CO} : \text{BiVO}_4 : \text{Ta}_2\text{O}_5$  khác nhau gồm BTC-2, BTC-3, BTC-4, BTC-5, thì vật liệu BTC-4 có hoạt tính xúc tác phân hủy RhB cao nhất trong vùng khảo sát. Cụ thể, sau 90 phút chiếu sáng, vật liệu BTC-4 đạt hiệu suất 90,27%. Trong khi đó, các vật liệu BTC-2, BTC-3 và BTC-5 lần lượt đạt 46,25%, 60,67% và 73,53%. Kết quả thực nghiệm cũng chỉ ra rằng, các vật liệu compozit đều thể hoạt tính xúc tác cao hơn so với các vật liệu  $\text{g-C}_3\text{N}_4$  (Hiệu suất 44,92%),  $\text{BiVO}_4$  (Hiệu suất 39,24%) và  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  (Hiệu suất 13,89%) riêng lẻ. Điều này hoàn toàn phù hợp với nhược điểm về tốc độ tái tổ hợp nhanh của cặp electron – lỗ trống quang sinh của các vật liệu  $\text{g-C}_3\text{N}_4$ ,  $\text{BiVO}_4$  riêng lẻ và nhược điểm không hoạt động được của  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  trong vùng ánh sáng nhìn thấy.

Do cả vật liệu  $\text{g-C}_3\text{N}_4$  và  $\text{BiVO}_4$  đều có năng lượng vùng cấm hẹp nên bị kích hoạt bởi ánh sáng trong vùng nhìn thấy.  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  không bị kích hoạt bởi ánh sáng nhìn thấy do có giá trị năng lượng vùng cấm lớn. Khi chiếu ánh sáng trong vùng nhìn thấy thì có sự kích hoạt làm phân tách cặp điện tử - lỗ trống trong vật liệu  $\text{g-C}_3\text{N}_4$  và  $\text{BiVO}_4$ . Các điện tử từ vùng hóa trị  $\text{g-C}_3\text{N}_4$  chuyển đến vùng dẫn và tham gia phản ứng với  $\text{O}_2$  hòa tan trong nước sinh ra gốc  $\text{O}_2^{\bullet-}$  ngay tại vùng dẫn của  $\text{g-C}_3\text{N}_4$ , một phần điện tử từ vùng dẫn của  $\text{g-C}_3\text{N}_4$  sẽ di chuyển đến vùng dẫn của  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  và tại đây xảy ra phản ứng với  $\text{O}_2$  hòa tan trong nước sinh ra gốc  $\text{O}_2^{\bullet-}$  làm hạn chế sự tái tổ hợp của các cặp điện tử và lỗ trống quang sinh, đồng thời làm tăng sự hình thành gốc  $\text{O}_2^{\bullet-}$ . Trong khi đó, khi bị kích hoạt bởi ánh sáng nhìn thấy, điện tử từ vùng hóa trị của  $\text{BiVO}_4$  bị tách ra, di chuyển đến vùng dẫn và sau đó chuyển xuống vùng hóa trị  $\text{g-C}_3\text{N}_4$ . Do đó, quá trình tái tổ hợp của electron quang sinh và lỗ trống quang sinh được hạn chế tối đa do quá trình di chuyển của các electron quang sinh giữa các vật liệu lai ghép  $\text{g-C}_3\text{N}_4$ ,  $\text{BiVO}_4$  và  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ . Lỗ trống ở vùng hóa trị của  $\text{BiVO}_4$  phản ứng với  $\text{H}_2\text{O}$  tạo ra gốc  $\text{HO}^{\bullet}$  [11]. Cơ chế phản ứng có thể mô tả một cách đơn giản nhất

(Hình 6) như sau:



#### 4. KẾT LUẬN

Đã tổng hợp thành công vật liệu compozit  $\text{BiVO}_4/\text{Ta}_2\text{O}_5/g\text{-C}_3\text{N}_4$  bằng phương pháp thủy nhiệt kết hợp với nhiệt pha rắn. Vật liệu compozit tổng hợp được có khả năng hấp thụ ánh sáng khả kiến mạnh hơn so với từng hợp phần  $\text{BiVO}_4$ ,  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  và  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  riêng lẻ. Kết quả khảo sát sự phân hủy RhB trên các vật liệu tổng hợp cho thấy, hiệu suất phân hủy RhB trên vật liệu compozit BTC-4 đạt 90,27% sau 90 phút xử lý, giá trị này cao hơn so với hiệu quả phân hủy RhB trên vật liệu  $\text{BiVO}_4$ ,  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  và  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  trong vùng ánh sáng khả kiến do hạn chế sự tái tổ hợp của cặp điện tử và lỗ trống quang sinh trong vật liệu compozit.

*Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Công nghiệp Thực phẩm TP HCM.*

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. M. F. Ridhwan Samsudin, S. Sufian, B. H. Hameed “Epigrammatic progress and perspective on the photocatalytic properties of  $\text{BiVO}_4$ -based photocatalyst in photocatalytic water treatment technology”: A review, *J. Mol. Liq.*, 268, 438-459 (2018).
2. X. Liang, J. Lin, X. Cao, W. Sun, J. Yang, B. Ma and Y. Ding, “Enhanced photocatalytic activity of  $\text{BiVO}_4$  coupled with iron-based complexes for water oxidation under visible light irradiation”, *Chem. Commun.*, 55, 2529-2532, (2019).
3. F.Q. Zhou, J.C. Fan, Q.J. Xu, Y.L. Min, “ $\text{BiVO}_4$  nanowires decorated with CdS nanoparticles as Z-scheme photocatalyst with enhanced  $\text{H}_2$  generation”, *Applied Catalysis B: Environmental*, 201, 77-83 (2017).
4. M.F.R. Samsudin, S. Sufian, B.H. Hameed, “Epigrammatic progress and perspective on the

photocatalytic properties of  $\text{BiVO}_4$ -based photocatalyst in photocatalytic water treatment technology”, *A review, Journal of Molecular Liquids*, 268, 438-459 (2018).

5. M. Wu, Y. Gong, T. Nie, J. Zhang, R. Wang, H. Wang and B. He, “Template-free synthesis of nanocage-like  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  with high surface area and nitrogen defects for enhanced photocatalytic  $\text{H}_2$  activity”, *J. Mater. Chem. A*, 7, 5324-5332, (2019).

6. K. D. Williams, A. O. Kiviyiro, “Photocatalytic Applications of Heterostructure Graphitic Carbon Nitride: Pollutant Degradation, Hydrogen Gas Production (water splitting), and  $\text{CO}_2$  Reduction”, *Nanoscale Research Letters*, 14, 234-251, (2019).

7. L. Kong, X. Zhang, C. Wang, J. Xu, X. Du, L. Li, “ $\text{Ti}^{3+}$  defect mediated  $g\text{-C}_3\text{N}_4/\text{TiO}_2$  Z-scheme system for enhanced photocatalytic redox performance”, *Applied Surface Science*, 448, 288-296 (2018).

8. J. Xu, H. T. Wu, X. Wang, B. Xue, Y. X. Li and Y. Cao, “A new and environmentally benign precursor for the synthesis of mesoporous  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  with tunable surface area”, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 15, 4510–4517, (2013).

9. R. Yin, H. Sun, J. An, Q. Luo, D. Wang, H. Sun, Y. Li, X. Li, “ $\text{SnO}_2/g\text{-C}_3\text{N}_4$  photocatalyst with enhanced visible-light photocatalytic activity” *J Mater Sci.*, 49, 6067–6073, (2014).

10. F. Chen, Q. Yang, Y. Wang, J. Zhao, D. Wang, X. Li, Z. Guo, H. Wang, Y. Deng, C. Niu, G. Zeng, “Novel ternary heterojunction photocatalyst of Ag nanoparticles and  $g\text{-C}_3\text{N}_4$  nanosheets co modified  $\text{BiVO}_4$  for wider spectrum visible-light photocatalytic degradation of refractory pollutant”, *Applied Catalysis B: Environmental*, 205, 133 - 147 (2017).

11. Z. Zhao, W. Zhang, X. Shen, T. Muhmood, M. Xia, W. Lei, F. Wang, M. Asim Khan, “Preparation of  $g\text{-C}_3\text{N}_4/\text{TiO}_2/\text{BiVO}_4$  composite and its application in photocatalytic degradation of pollutant from TATB production under visible light irradiation”,

*Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 358, 246-255, (2018).

12. N. Bacho, "Engineering Nanostructure of g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/CNT/BiVO<sub>4</sub> Z-Scheme Heterostructure for Photocatalytic Degradation of Phenol", *Research Communication in Engineering Science & Technology*, 1, 6-7, (2018).

13. X. Lin, D. Xu, Y. Xi, R. Zhao, L. Zhao, M. Song, H. Zhai, G. Che, L. Chang, "Construction of leaf-like g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/Ag/BiVO<sub>4</sub> nanoheterostructures with enhanced photocatalysis performance under visible-light irradiation", *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 513, 117-124 (2017).

14. H. M. Fan, D. J. Wang, L. L. Wang, H. Y. Li, P. Wang, T. F. Jiang, T. F. Xie. "Hydrothermal synthesis and photoelectric properties of BiVO<sub>4</sub> with different morphologies: an efficient visible-light photocatalyst", *Appl. Surf. Sci.*, 257, 7758–7762, (2011).

15. X. C. Wang, K. Maeda, A. Thomas A, K.

Takanabe, G. Xin, J. M Carlsson, K. Domen , M. Antonietti, "A metal-free polymeric photocatalyst for hydrogen production from water under visible light", *Nat Mater*, 8, 76–80 (2009).

16. F. Jiang, T. T Yan, H. Chen, A. W Sun, C. M Xu, X. Wang, "A g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-CdS composite catalyst with high visible-light-driven catalytic activity and photostability for methylene blue degradation", *Appl Surf Sci*, 295, 164–172 (2014).

17. R. Sharma, Uma, S. Singh, A. Verma, M. Khanuja. Visible light induced bactericidal and photocatalytic activity of hydrothermally synthesized BiVO<sub>4</sub> nano-octahedrals, *Journal of Photochemistry & Photobiology B: Biology*, 162, 266-272, (2016).

---

## NGHIÊN CỨU CHIẾT TÁCH VÀ XÁC ĐỊNH THÀNH PHẦN..... Tiếp theo Tr 39

3. <http://tinhdautram.vn/cac-giong-tram-sanxuat-lay-tinh-dau-o-vietnam>

4. <http://tinhdautnhiennet/store/tinh-dau-tram>

5. Võ Văn Chi, Vũ Văn Chuyên, Phan Nguyễn Hồng, Trần Hợp, "Cây cỏ thường thấy ở Việt Nam", tập 1, NXB KHKT Hà Nội, (1973).

6. Nguyễn Văn Đán, Ngô Ngọc Khuyến, "Hợp chất thiên nhiên dùng làm thuốc", NXB y học Hà Nội, (1999).

7. Trần Tứ Hiếu, "Các phương pháp phân tích công cụ - Phần 3" NXB KHKT Hà Nội, (2007).

8. Đỗ Tất Lợi, "Tinh dầu Việt Nam", NXB Y học TP HCM, (1985).

9. Đỗ Tất Lợi, "Những cây thuốc và vị thuốc", NXB KHKT Hà Nội, (1992).

10. Lê Ngọc Thạch, "Tinh dầu", NXB ĐHQG Hà Nội, (2003).

11. <https://www.thaythuoccuaban.com/vithuoc/caytram>

12. Dược điển Việt Nam, NXB Y học.

13. Lê Thị Anh Đào (chủ biên) – Đặng Văn Liễu – "Thực hành hóa hữu cơ", NXB ĐHSP, (2005).

14. <http://thaoduocthientam.com/thanhphanhoa-hoc-cua-dau-tram-hue>

15. Những cây thuốc và vị thuốc Việt Nam – NXB Y học, (2006).

16. Tiêu chuẩn chứng nhận chất lượng Bộ Y tế: 7551/2012/YT-CNTC.