

NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG PHÂN HỦY CHẤT MÀU CÔNG NGHIỆP TRONG THỰC PHẨM BẰNG VẬT LIỆU XÚC TÁC QUANG HÓA KHẢ KIẾN Zn/ZnO/TiO₂-Ag

Nguyễn Thị Minh Diệp¹, Trần Thu Quỳnh², Huỳnh Đăng Chính², Nguyễn Xuân Trường^{2*}

¹Khoa Dược, Trường Cao đẳng Dược Phú Thọ

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

Đến Tòa soạn 23-01-2015; Chấp nhận đăng 20-6-2015

Abstract

Ag-doped TiO₂ amorphous composite film coupled with metal oxide semiconductor ZnO on Zn-slide as a novel visible light photocatalyst is synthesized. The material is characterized using various analytical techniques such as X-ray diffraction (XRD), Field Emission Scanning Electron Microscopy (FESEM), Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS) and Diffusive Reflectance Spectroscopy (DRS). It is indicated that the presence of the dopant, Ag, on Zn/ZnO/TiO₂ film enhances its catalytic activity in VIS region. For environmental application, the photocatalytic activities of the material are evaluated by degradation of an artificial dye, tartazine, under sunlight. Furthermore, the effect of pH and H₂O₂ as an oxidizing agent on the degradation efficiency of the material is also investigated. The results show the optimal conditions for the photodegradation of the tartazine 0.5 mg sample are pH 5 and 3 ml H₂O₂ 10 % in 6-hour irradiation.

Keywords. Visible light photocatalyst, photodegradation, tartazine, foods and drugs, Ag-doped Zn/ZnO/TiO₂ film.

1. MỞ ĐẦU

Xử lý nước ô nhiễm bằng phương pháp oxi hóa tiên tiến sử dụng chất xúc tác quang hóa TiO₂ đã và đang được nghiên cứu ở nhiều nước trên thế giới [1-4, 8-12]. Tuy nhiên, việc ứng dụng chất xúc tác này để loại bỏ các phẩm màu, chất bảo quản trong ngành công nghiệp thực phẩm và dược phẩm gần đây mới bắt đầu được quan tâm nghiên cứu. Mặt khác, vật liệu TiO₂ thông thường chỉ có hoạt tính quang xúc tác khi bị kích thích bởi ánh sáng vùng tử ngoại và khó thu hồi xúc tác sau phản ứng [6, 7, 15].

Trong nghiên cứu này, chúng tôi đưa ra kết quả tổng hợp vật liệu màng xúc tác quang hóa khả kiến Zn/ZnO/TiO₂-Ag. Chất bán dẫn oxit kim loại ZnO và TiO₂ đều có năng lượng vùng cấm rộng [5, 15, 17]. Dưới sự kích thích của bức xạ UV, tỷ lệ kết hợp điện tử - lỗ trống cao nên hoạt tính xúc tác quang thấp. Tuy nhiên, nếu kết hợp chúng với nhau sẽ tạo thành loại vật liệu cấu trúc nano đa lớp, dẫn đến giảm sự kết hợp điện tử - lỗ trống. Đồng thời sự kết hợp này có thể cải thiện sự di chuyển của các điện tử bề mặt do đó cải thiện hoạt tính quang xúc tác của vật liệu tổ hợp ZnO-TiO₂ [13, 16, 17]. Mặt khác, sự có mặt của một lượng nhỏ Ag trên màng bán dẫn có tác dụng làm giảm độ rộng vùng cấm và làm “chậm lại” tốc độ kết hợp điện tử - lỗ trống. Do vậy, vật

liệu màng tổ hợp ZnO/TiO₂/Ag thể hiện hoạt tính quang xúc tác cao trong vùng ánh sáng khả kiến [8,14,18]. Một ưu điểm khác là dễ dàng thu hồi xúc tác để tái sử dụng đối với loại vật liệu màng Zn/ZnO/TiO₂-Ag.

Trong bài báo này, chúng tôi cũng đưa ra kết quả đánh giá khả năng ứng dụng vật liệu Zn/ZnO/TiO₂-Ag để xử lý nước ô nhiễm có chứa phẩm màu công nghiệp, thông qua hiệu suất của phản ứng quang phân hủy chất màu tartazine (E102) dưới tác dụng của ánh sáng mặt trời.

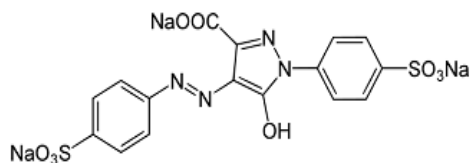
2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Hóa chất và thiết bị

Hóa chất: Tetra *n*-butyl octotitanat - TBOT (Merck, Đức), etanol-EtOH (Merck, Đức), NaOH (Trung Quốc), HNO₃ 63 % (Trung Quốc), AgNO₃ tinh thể (Trung Quốc), H₂O₂ 30% (Trung Quốc), kẽm tấm bề dày 0,1 cm, nước cất 2 lần, tartazine (dung dịch 5 % trong nước và axit axetic).

Tartazine có công thức hóa học C₁₆H₉N₄Na₃O₉S₂, danh pháp quốc tế là trisodium (4E)-5-oxo-1-(4-sulfonatophenyl)-4-[(4-sulfonatophenyl)hydrazono]-3-pyrazole-carboxylate, mã số quốc tế E102, là một chất tạo

màu vàng chanh và có cường độ tạo màu khá cao, chỉ một lượng rất nhỏ đã có thể tạo ra một màu vàng khá đậm [12, 19].



Hình 1: Công thức cấu tạo của tartazine

Dụng cụ và thiết bị: Điện cực titan, máy khuấy từ gia nhiệt, thiết bị điện phân, thiết bị phủ nhúng sol-gel, máy đo pH, cân phân tích, lò nung.

Giản đồ nhiễu xạ tia X (XRD) được ghi trên hệ nhiễu xạ kế SIEMENS D5005 (CHLB Đức) tại Khoa Hóa học, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên Hà Nội.

Ảnh hiển vi điện tử quét (SEM) và phổ tán xạ năng lượng tia X (EDS) được ghi trên thiết bị HRTEM Tecnai G2 F20 (FEI, Mỹ) tại Viện Tiên tiến Khoa học và Công nghệ, Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội.

Phổ hấp thụ tử ngoại-khả kiến (UV-Vis) được ghi trên máy UV-Vis (Agilent 8453, Mỹ) tại Viện Kỹ thuật Hóa học, Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội.

Phổ tán xạ-phản xạ (DRS) được ghi trên máy quang phổ Lambda 950 UV/VIS/NIR (Perkin-Elmer, Anh) tại Viện Hóa lý và Hóa lý thuyết, Trường Đại học Kỹ thuật Graz, Cộng hòa Áo.

2.2. Tổng hợp vật liệu Zn/ZnO/TiO₂-Ag

2.2.1. Tổng hợp vật liệu mang Zn/ZnO bằng phương pháp điện hóa

Mẫu Zn rửa sạch, đánh bóng bằng giấy ráp lần lượt cỡ thô, cỡ vừa và cỡ mịn.

Mẫu Zn sau đó được rửa lại bằng nước cất, nhúng ngập phần diện tích cần dùng trong dung dịch HCl 10 %, sấy khô và mắc vào bình điện phân. Anot là mẫu Zn, catot là điện cực titan nguyên chất. Điện phân với mật độ dòng 0,2 A/dm² trong dung dịch NaOH 0,5 M trong thời gian 90 phút [10, 11].

2.2.2. Tổng hợp vật liệu Zn/ZnO/TiO₂-Ag bằng phương pháp nhúng phủ sol-gel

Trước hết, chuẩn bị dung dịch sol theo tỷ lệ về mol như sau: TBOT:H₂O:EtOH:HNO₃:AgNO₃ = 1:08:8:0,08:0,02 [6, 7]. Theo tỷ lệ mol này, lượng Ag/TiO₂-Ag tương ứng về phần trăm khối lượng là 1,0 %. Hỗn hợp luôn được khuấy đều ở 0 °C. Sau

đó, nhúng vật liệu mang Zn/ZnO vào dung dịch sol với tốc độ 1cm/phút, nung ở 350 °C trong 10 phút. Quá trình nhúng và nung được lặp lại 2 lần, nung lần thứ 2 thực hiện trong 10 phút.

2.3. Đánh giá hoạt tính xúc tác quang hóa của vật liệu

Hoạt tính quang xúc tác của vật liệu được đánh giá thông qua phản ứng quang phân hủy chất màu tartazine. Phần đế kèm phủ màng ZnO/TiO₂-Ag với diện tích 2×2 cm² được nhúng ngập trong cốc thủy tinh chứa 50 ml dung dịch tartazine (0,5 mg tartazine). Thí nghiệm thử hoạt tính được thực hiện ngoài trời dưới điều kiện chiếu sáng tự nhiên.

Hiệu suất của phản ứng quang phân hủy được tính theo công thức:

$$H(\%) = \frac{A_0 - A_t}{A_0} \times 100.$$

Trong đó A₀ và A_t là độ hấp thụ của tartazine ban đầu và tại thời điểm t.

Độ hấp thụ của tartazine được xác định theo phương pháp đo quang tại bước sóng λ_{max} = 429 nm.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Cấu trúc của vật liệu màng Zn/ZnO/TiO₂-Ag

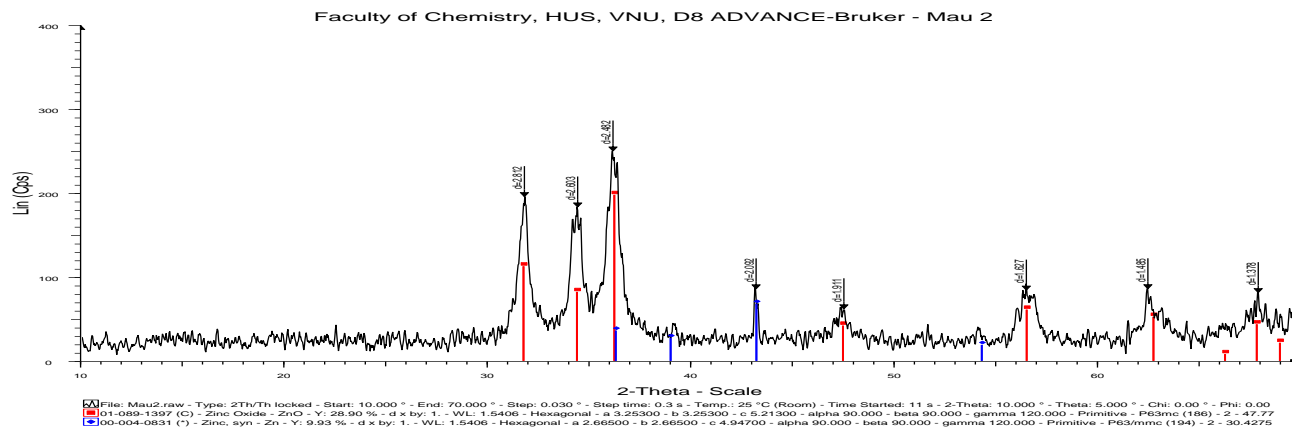
Giản đồ XRD của vật liệu màng Zn/ZnO/TiO₂-Ag được chỉ ra trên hình 2. Trên giản đồ, chỉ quan sát thấy các pic của ZnO (■) và Zn (♦). Kết quả chỉ ra rằng màng tạo thành ZnO/TiO₂-Ag trên đế Zn có cấu trúc vô định hình.

3.2. Ảnh hiển vi điện tử quét – FESEM

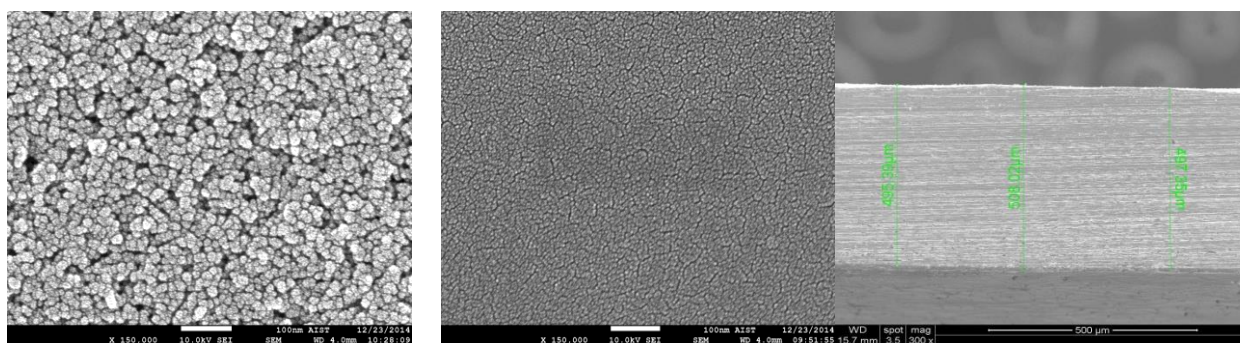
Hình 3a cho thấy cấu trúc của lớp màng ZnO có độ xốp rất cao và các lớp xếp chồng lên nhau với mật độ dày đặc. Cấu trúc lỗ xốp tạo thành này chính là cơ sở cần thiết và thuận lợi cho sự bám phủ của dung dịch sol và sau đó là màng TiO₂-Ag [4, 6, 7]. Quan sát hình 3b, sau khi phủ lớp dung dịch sol vào các lỗ xốp ZnO và tiến hành nung luyện thu được lớp màng khá đồng nhất. Độ dày của lớp màng tổ hợp ZnO/TiO₂-Ag cỡ 500 μm (hình 3c).

3.3. Phổ tán xạ năng lượng tia X-EDS

Phổ EDS của mẫu Zn/ZnO/TiO₂-Ag (hình 4) cho thấy pic của Ag cùng với pic của các nguyên tố cơ bản khác Ti, O và Zn. Điều này chứng tỏ phương pháp nhúng phủ sol-gel đã pha tạp thành công Ag trên màng ZnO/TiO₂.



Hình 2: Giảm đồ XRD của vật liệu Zn/ZnO/TiO₂-Ag

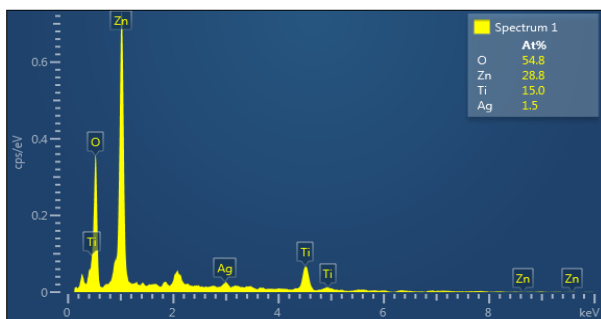


(a)

(b)

(c)

Hình 3: Ảnh SEM bề mặt Zn/ZnO (a), Zn/ZnO/TiO₂-Ag (b) và (c) độ dày lớp màng ZnO/TiO₂-Ag



Hình 4: Ảnh EDS mẫu Zn/ZnO/TiO₂-Ag

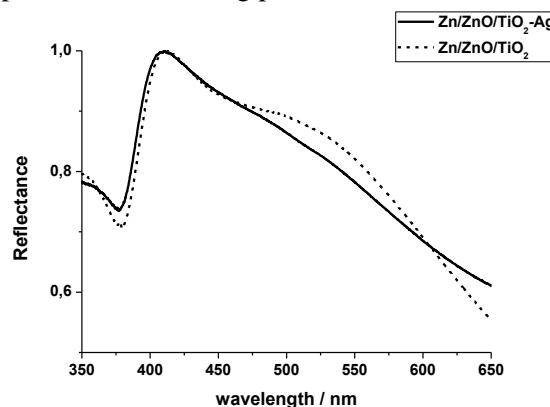
3.4. Phổ tán xạ phản xạ - DRS

Kết quả ghi phổ DRS (hình 5) cho thấy, vật liệu màng Zn/ZnO/TiO₂-Ag có độ phản xạ giảm ở vùng 460-600 nm so với vật liệu Zn/ZnO/TiO₂. Như vậy, đã có sự tăng độ hấp thụ của vật liệu Zn/ZnO/TiO₂- trong vùng ánh sáng khả kiến do sự pha tạp kim loại Ag.

3.5. Sự có mặt của Ag ảnh hưởng đến hoạt tính quang xúc tác

Hình 6 đưa ra kết quả khảo sát hiệu suất của phản ứng quang phân hủy tartazine dưới tác dụng của

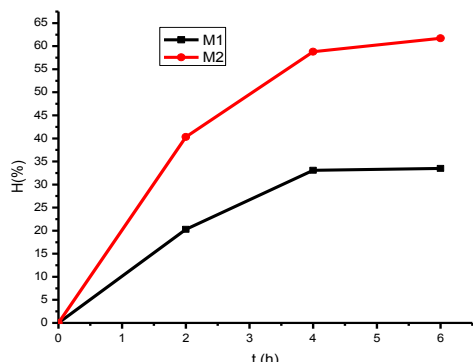
ánh sáng mặt trời trên hai mẫu vật liệu: không pha tạp Ag (M₁) và có pha tạp Ag 1% (M₂). Nhận thấy, với sự pha tạp kim loại Ag, hiệu suất (H) của phản ứng quang phân hủy tartazin tăng lên rõ rệt (H tăng gấp ~ 2 lần, môi trường pH 5).



Hình 5: Phổ DRS của vật liệu Zn/ZnO/TiO₂ và Zn/ZnO/TiO₂-Ag

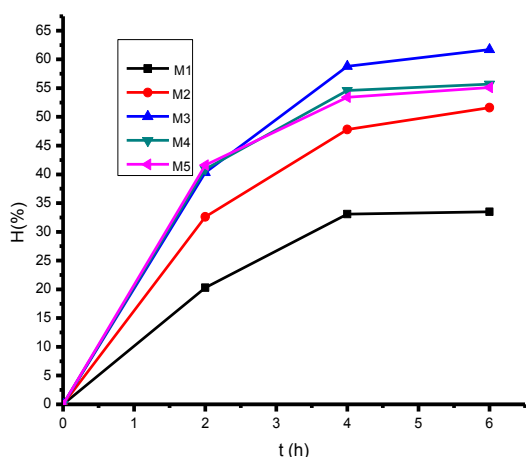
Sự tăng mạnh hiệu suất phản ứng của vật liệu quang xúc tác Zn/ZnO/TiO₂-Ag có thể được giải thích như sau: kim loại chuyển tiếp Ag được đưa vào màng ZnO-TiO₂ có tác dụng làm hẹp độ rộng năng lượng vùng cấm do sự lai hóa các orbital d

giữa Ti và nguyên tố Ag. Mặt khác, “hàng rào” Schottky được hình thành giữa kim loại Ag và các oxit bán dẫn, dẫn đến có sự chuyển rời electron giữa kim loại Ag và oxit bán dẫn. Do vậy, sự có mặt của Ag sẽ làm “chậm” quá trình tái tổ hợp điện tử - lỗ trống. Chúng đóng vai trò như các “bẫy” điện tử và “bẫy” lỗ trống, tăng cường sự chia tách lỗ trống–điện tử [4, 8, 14-16, 18]. Các điện tử bị mắc kẹt trên bẫy điện tử tương tác với O_2 tạo thành các phân tử hoạt động (O_2^{\bullet} , $\bullet OH$). Do đó làm tăng hiệu suất phản ứng quang xúc tác phân hủy tartazine.



Hình 6: Sự có mặt của Ag ảnh hưởng đến hoạt tính quang xúc tác của vật liệu. M1: Zn/ZnO/TiO₂; M2: Zn/ZnO/TiO₂-Ag

Nhưng mặt khác, khi nồng độ pha tạp đạt đến giá trị nào đó thì các “bẫy” điện tử lại đóng vai trò như các tâm tái hợp của các cặp “điện tử - lỗ trống” làm giảm khả năng quang xúc tác của vật liệu [6, 16]. Kết quả khảo sát sự ảnh hưởng của hàm lượng Ag pha tạp đến hoạt tính quang xúc tác của vật liệu (hình 7) cho thấy, với hàm lượng Ag pha tạp 0,5%, H ~52%. Với lượng Ag pha tạp 1,0%, H > 61%

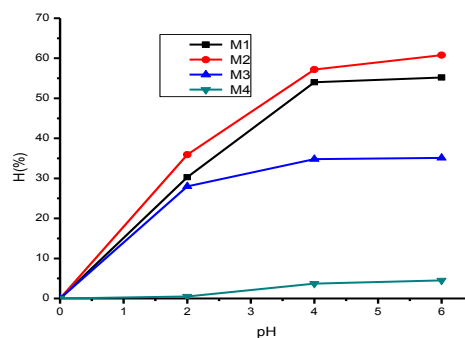


Hình 7: Ảnh hưởng của hàm lượng Ag pha tạp đến hoạt tính quang xúc tác của vật liệu
M1: Zn/ZnO/TiO₂; M2: Zn/ZnO/TiO₂-0,5% Ag;
M3: Zn/ZnO/TiO₂-1,0% Ag; M4: Zn/ZnO/TiO₂-2,0% Ag;
M5: Zn/ZnO/TiO₂-3,0% Ag

sau 6 giờ chiếu sáng, lượng Ag pha tạp lần lượt là 2,0% và 3,0% thì H bắt đầu giảm nhẹ so với khi pha tạp 1,0% Ag và hầu như không tăng thêm sau 4 giờ chiếu sáng. Như vậy, với vật liệu nghiên cứu ở đây, hàm lượng Ag pha tạp 1,0% cho hiệu quả quang xúc tác tối ưu nhất.

3.6. Ảnh hưởng của pH đến hoạt tính quang xúc tác

Nghiên cứu khảo sát ảnh hưởng của pH đến hiệu suất phản ứng quang phân hủy tartazine bởi vật liệu Zn/ZnO/TiO₂-Ag dưới tác dụng của ánh sáng mặt trời. Kết quả (hình 8) cho thấy tốc độ và hiệu suất phản ứng trong môi trường axit pH 5 cao hơn so với trong môi trường axit mạnh pH 2, trung tính và môi trường kiềm pH 10. Tại pH 5, sau 6 giờ, H đạt tới ~61%. Trong khi tại pH 7, H > 35%, tại pH 10, H > 4% và môi trường axit mạnh pH 2, H > 55%. Tốc độ và hiệu suất phản ứng cao trong môi trường axit là do tăng cường sự hấp phụ của tartazine lên bề mặt TiO₂ mang điện dương. Trong môi trường axit mạnh pH 2, lớp ZnO có thể bị hòa tan phần nào, do đó có hoạt tính thấp hơn. Trong môi trường trung tính và kiềm, hiệu suất quang phân hủy giảm đi do khả năng tạo thành Zn(OH)₂ dẫn tới thụ động hóa bề mặt và làm giảm hoạt tính quá trình quang xúc tác [10].

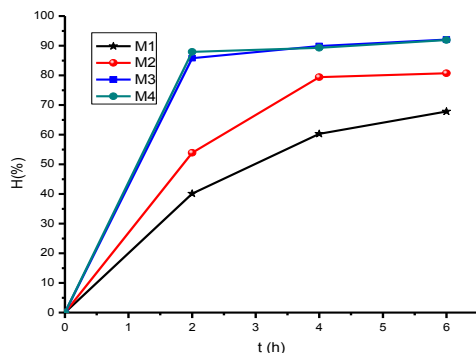


Hình 8: Ảnh hưởng của pH đến hoạt tính quang xúc tác của vật liệu. M1: pH 2; M2: pH 5; M3: pH 7; M4: pH 10

3.7. Ảnh hưởng của H₂O₂ đến hoạt tính quang xúc tác

Hiệu suất quang phân hủy mẫu chứa 0,5 mg tartazine bằng vật liệu màng Zn/ZnO/TiO₂-Ag ($s = 4 \text{ cm}^2$) với lượng 3 ml H₂O₂ 10% là tối ưu (hình 9). Nghiên cứu cho thấy nếu chỉ thêm một lượng H₂O₂ tương tự (3 ml H₂O₂ 10%) vào mẫu mà không có vật liệu Zn/ZnO/TiO₂-Ag, thì H chỉ đạt ~20% sau 6 giờ. Mặt khác, khi thêm lượng H₂O₂ nhiều hơn, hiệu suất không cao hơn và hầu như không tăng

thêm sau 4 giờ. Nguyên nhân là do sự có mặt của gốc $\bullet\text{OH}$ nhiều sẽ dẫn tới sự tái kết hợp các gốc tự do $\bullet\text{O}_2^-$, $\bullet\text{OH}$, $\bullet\text{OH}_2$, bên cạnh đó H_2O_2 sẽ tương tác với $\bullet\text{OH}$ làm giảm một phần lượng $\bullet\text{OH}$ [9, 15, 19].



Hình 9: Ảnh hưởng của H_2O_2 đến hoạt tính quang xúc tác

M1: Zn/ZnO/TiO₂ 1,0 % Ag + 1,0ml H₂O₂ 10 %
 M2: Zn/ZnO/TiO₂ 1,0 % Ag + 2,0 ml H₂O₂ 10 %
 M3: Zn/ZnO/TiO₂ 1,0 % Ag + 3,0 ml H₂O₂ 10 %
 M4: Zn/ZnO/TiO₂ 1,0 % Ag + 4,0 ml H₂O₂ 10 %

Kết quả (hình 9) cho thấy hiệu suất phân hủy mẫu chứa 0,5 mg tartazin đạt tới 92 % sau 6 giờ chiếu sáng tự nhiên khi sử dụng kết hợp vật liệu màng xúc tác Zn/ZnO/TiO₂-Ag và thêm 3 ml H₂O₂ 10 % trong môi trường pH 5.

4. KẾT LUẬN

Đã tổng hợp thành công vật liệu màng Zn/ZnO/TiO₂-Ag, có hoạt tính xúc tác quang hóa trong vùng ánh sáng khả kiến. Chất mang Zn/ZnO được tổng hợp bằng phương pháp điện hóa có cấu trúc lỗ xốp đồng đều, độ trật tự cao. Màng TiO₂-Ag được tổng hợp bằng phương pháp sol-gel có cấu trúc vô định hình. Với lượng pha tạp tối ưu 1 % Ag, vật liệu thể hiện hoạt tính quang xúc tác cao trong vùng ánh sáng khả kiến.

Với 4 cm² diện tích bề mặt xúc tác, vật liệu màng Zn/ZnO/TiO₂-Ag đã cho hiệu suất quang phân hủy mẫu chứa 0,5 mg tartazine đạt tới 92 % trong điều kiện: môi trường axit pH 5, thêm 3 ml H₂O₂ 10 %, và sau 6h dưới ánh sáng mặt trời. Vật liệu rất có triển vọng để sử dụng trong việc xử lý nước ô nhiễm chứa các chất màu công nghiệp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn Thị Kim Cương. *Tổng hợp và nghiên cứu tính chất quang của màng Ag-TiO₂ nhằm ứng dụng trong diệt khuẩn*, Luận văn Thạc sỹ Vật lý, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh (2012).

2. Trần Thị Đức, Lê Thị Hoài Nam, Bùi Tiến Dũng, Phùng Thị Xuân Bình, Nguyễn Xuân Nguyên, Phạm Châu Thùy. *Chế tạo và nghiên cứu ứng dụng các màng xúc tác quang hóa TiO₂*, Tạp chí Hóa học, **40(4)**, 27-31 (2002).
3. Đỗ Phương Thảo, Trần Thị Thúy, Mai Thanh Tùng, Nguyễn Xuân Trường. *Nghiên cứu tổng hợp vật liệu xúc tác quang hóa Al/Al₂O₃/TiO₂-Ag khả kiến ứng dụng để xử lý nước ô nhiễm*, Tạp chí Hóa học, **53(3)**, 380 (2014).
4. Cao Xuân Thắng. *Nghiên cứu quá trình chế tạo nano tinh thể TiO₂ ở nhiệt độ thấp*, Luận án Tiến sỹ kỹ thuật, Quá trình và Thiết bị Công nghệ hóa học, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội (2012).
5. Võ Chiếu Khải. *Tổng hợp nano kẽm oxit có kiểm soát hình thái và một số ứng dụng*, Luận án tiến sỹ hóa học, Đại học Huế (2014).
6. Gaoling Zhao, Hiromitsu Kozuka, Toshinobu Yoko. *Sol-gel preparation and photoelectrochemical properties of TiO₂ films containing Au and Ag metalparticles*, Thin solid films, **277**, 147-154 (1995).
7. Gaoling Zhao, Hiromitsu Kozuka and Toshinobu Yoko. *Photoelectrochemical Properties of Dye-Sensitized TiO₂ Films Containing Dispersed Gold Metal Particle Prepare by Sol-Gel Method*, Journal of the Ceramic Society of Japan, **103(3)**, 164-168 (1996).
8. P. Peerakiathajohn, W. Onreabroy, C. Chawengkijwanich and S. Chiarakorn. *Preparation of Visible-Light-Responsive TiO₂ Doped Ag Thin Film on PET Plastic for BTEX Treatment*, Journal of Sustainable Energy & Environment, **2**, 121-125 (2011).
9. Kumaresan Loganathan, Palanisamy Bommusamy, Palanichamy Muthaiahpillai, Murugesan Velayutham. *The syntheses, characterization, and photocatalytic activities of silver, platinum and gold doped TiO₂ nanoparticles*, Environment Engineering research, **16(2)**, 81-90 (2011).
10. Rusmidah Ali, Wan Azelee Wan Abu Bakar and Lee Kin Teck. *Zn/ZnO/TiO₂ and Al/Al₂O₃/TiO₂ Photocatalysts for the Degradation of Cypermethrin*, Modern Applied Science, **4(1)**, 59-67 (2010).
11. Huey-Shya Goh, Rohana Adnan, Muhammad Akhyar Farrukh. *ZnO nanoflake arrays prepared via anodization and their performance in the photodegradation of methyl orange*, Turkish Journal of Chemistry, **35(3)**, 375 (2011).
12. Salam K. Al-Dawery. *Photocatalyst degradation of tartazine compound in wastewater using TiO₂ and UV light*, Journal of Engineering Science and Technology, **8(6)**, 683-691 (2013).
13. Yu-Zhu Gu, Hong-Liang Lu, Yang Geng, Zhi-Yuan Ye, Yuan Zhang, Qing-Qing Sun, Shi-Jin Ding and David Wei Zhang. *Optical and microstructural properties of ZnO/TiO₂ nanolaminates prepared by*

- atomic layer deposition*, Nanoscale Research Letters, **8**, 107 (2013).
14. M. M. Viana, N. D. S. Mohallem, D. R. Miquita, K. Balzuweit, E. Silva-Pinto. *Preparation of amorphous and crystalline Ag/TiO₂ nanocomposite thin films*, Applied Surface Science, **265**, 130-136 (2013).
 15. Miguel Pelaeza et al. *A review on the visible light active titanium dioxide photocatalysts for environmental applications*, Applied Catalysis B: Environmental, **125**, 331-349 (2012).
 16. Li Lia, Xiuli Zhang, Wenzhi Zhang, Lili Wang, Xi Chena, Yu Gao, China. *Microwave-assisted synthesis of nanocomposite Ag/ZnO–TiO₂ and photocatalytic degradation Rhodamine B with different modes*, Colloids and Surfaces A: Physicochemical Engineering Aspects, **457(5)**, 134-141 (2014).
 17. Shahin Homaeigohar and Mady Elbahri. *Nanocomposite Electrospun Nanofiber Membranes for Environmental Remediation*, Materials, **7**, 1017-1045 (2014).
 18. Yin-Yu Chang, Yaw-Nan Shieh, Ho-Yi Kao. *Optical properties of TiO₂ thin films after Ag ion implantation*, Thin Solid Films, **519**, 6935-6939 (2011).
 19. Petruta Oancea, Victoria meltzer. *Kinetics of tartrazine photodegradation by UV/H₂O₂ in aqueous solution*, Chemical papers, **68(1)**, 105-111 (2014).

Liên hệ: Nguyễn Xuân Trường

Viện Kỹ thuật Hóa học
 Trường Đại học Bách khoa Hà Nội
 Số 1, Đại Cồ Việt, Hai Bà Trưng, Hà Nội
 E-mail: truong.nguyensexuan@hust.edu.vn.