

XÚC TÁC QUANG TRÊN CƠ SỞ C-ZnO CỐ ĐỊNH TRÊN XENLULOZO, ỨNG DỤNG PHÂN HỦY METHYLENE XANH TRONG NƯỚC

Đến tòa soạn: 21-05-2025

Lưu Thị Việt Hà^{1*}, Lê Nhất Thống¹

¹ Khoa Công nghệ Hóa học, Đại học Công nghiệp Thành phố Hồ Chí Minh

*E-mail:luuthivietha@iuh.edu.vn

SUMMARY

PHOTOCATALYST BASED ON C-ZnO-BASED FIXED ON CELLULOSE, APPLICATION FOR DEGRADATION OF METHYLENE BLUE IN WATER

In this study, C-doped ZnO nanomaterials immobilized on cellulose (CZX) were synthesized through two steps. First, nanometer-sized C-ZnO was produced using a one-step hydrothermal process. Next, a simple papermaking procedure using alkyl ketene dimer (AKD) linked C-ZnO to cellulose in levels ranging from 10% to 60%. The crystal structure, bond vibration, and optical absorption properties of the materials were examined. Additionally, we examined photocatalytic activity and reusability using methylene blue (MB) degradation under visible light. The results showed that the CZX20 material, which was made of 20% C-ZnO and cellulose, was the most effective to degrade MB, reaching yield of 98% after 210 minutes of light. The MB degradation efficiency of CZX20 reached over 94.4% after 4 reuses. These results suggest that the new material C-ZnO/cellulose had the potential to be employed in water treatment under visible light with the advantages of low cost, environmental friendliness, ease of use, ease of recovery and ease of recycling.

Keywords: C-ZnO, Photocatalyst, Cellulose, Visible light, C-ZnO/Cellulose.

1. MỞ ĐẦU

Môi trường là một yếu tố vô cùng quan trọng trong sự tồn tại và phát triển của con người cũng như toàn xã hội. Ô nhiễm môi trường ngày càng gia tăng cùng với sự phát triển nhanh chóng của các ngành công nghiệp [1]. Ở nước ta, ô nhiễm môi trường nước từ các chất màu hữu cơ bền, độc hại đang là vấn đề được đặc biệt quan tâm khi mà ngành dệt may phát triển rất mạnh, kim ngạch xuất khẩu nhiều năm liền đứng 2 trong toàn ngành. Vì thế, việc cải tiến các phương pháp nhằm xử lý triệt để ô nhiễm nguồn nước cũng như việc tìm kiếm các vật liệu xử lý hiệu quả, bền, chi

phí thấp và thân thiện môi trường có ý nghĩa thực tiễn rất lớn.

Phương pháp oxi hóa tiên tiến, sử dụng các chất xúc tác quang nano gần đây được nhiều nhà khoa học đặc biệt quan tâm và nghiên cứu. Trong đó, vật liệu trên cơ sở TiO_2 và ZnO được quan tâm nhiều nhất do các đặc tính lý hóa, quang quý báu và khả năng ứng dụng cao của chúng [2–7]. Tuy nhiên, ZnO thể hiện hiệu suất quang xúc tác tốt hơn vì độ linh động của electron của ZnO ($200\text{--}300\text{ cm}^2/\text{Vs}$) cao hơn so với TiO_2 ($0,1\text{--}4,0\text{ cm}^2/\text{Vs}$), góp phần tạo nên hiệu suất lượng tử cao [8]. ZnO là một oxit bán dẫn, có năng lượng vùng cấm rộng (xấp xỉ $3,2\text{--}3,3\text{ eV}$ ở nhiệt

độ phòng), ổn định nhiệt, cơ, hóa học và quang học cao. Bên cạnh đó, ZnO có khả năng hấp thụ ánh sáng với phạm vi bức xạ rộng, giá thành tương đối rẻ và thân thiện với môi trường [9]. Tuy nhiên, với năng lượng vùng cấm khá lớn, ZnO chỉ thể hiện hoạt tính quang xúc tác khi hấp thụ ánh sáng cực tím. Điều này làm hạn chế khả năng ứng dụng thực tiễn của ZnO. Pha tạp C nhằm thu hẹp năng lượng vùng cấm của ZnO, bởi vì khi pha tạp C có thể làm thay đổi phần nào cấu trúc electron của mạng tinh thể ZnO, do đó tạo nên vùng cấm mới ngay bên trong vùng cấm của ZnO. Vùng này có năng lượng nhỏ hơn năng lượng vùng cấm của ZnO nên có khả năng hấp thụ một phần ánh sáng nhìn thấy [10,11]. Hơn nữa, pha tạp C có thể làm giảm kích thước hạt, tăng diện tích bề mặt, tăng khả năng dẫn truyền điện tích. Do vậy, pha tạp C có thể làm tăng hoạt tính quang xúc tác của ZnO trong vùng ánh sáng khả kiến.

Việc kết hợp C-ZnO với xenlulozơ với sự hỗ trợ của AKD được xem như sự phân tán các hạt C-ZnO trên bề mặt chất mang xenlulozơ nhằm hạn chế sự kết tụ các hạt gây ra sự dư thừa, lãng phí xúc tác. Bên cạnh đó, các hạt này được cố định trên các sợi xenlulozơ khi có mặt AKD để tránh sự mất mát các hạt nano trong quá trình thực hiện phản ứng, hạn chế tình trạng ô nhiễm thứ cấp, đồng thời làm tăng độ bền của xúc tác. Điều đáng chú ý nữa là vật liệu này được chế tạo dưới dạng tờ giấy nên rất linh hoạt trong việc sử dụng, thuận tiện cho thu hồi cũng như tái sử dụng xúc tác.

Trong nghiên cứu này, vật liệu CZX được tổng hợp thông qua hai bước bằng phương pháp thủy nhiệt và phương pháp xeo giấy đơn giản. Các đặc trưng tính chất được nghiên cứu bằng phương pháp nhiễu xạ tia X (XRD), phương pháp kính hiển vi điện tử quét (FE-SEM), phương pháp phổ hồng ngoại (FT-IR) và phương pháp phổ

phản xạ khuếch tán tử ngoại – khả kiến UV-Vis-DRS. Các ứng dụng phân hủy MB của CZX dưới ánh sáng khả kiến và khả năng tái sử dụng của xúc tác cũng được nghiên cứu và đánh giá.

2. THỰC NGHIỆM

2.1. Tổng hợp vật liệu ZnO pha tạp C (C-ZnO)

Hòa tan 0,67 gam ($\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) trong 80 mL etanol thu được dung dịch 1. Hòa tan 0,03 gam poly vinyl ancolol (PVA) trong 30 mL nước nóng thu được dung dịch 2. Trộn dung dịch 1 và 2 rồi khuấy trên máy khuấy từ 45 phút. Tiếp tục cho từ từ 40 mL dung dịch NaOH 0,5M và khuấy tiếp 45 phút. Cho toàn bộ hỗn hợp phản ứng vào bình phản ứng thủy nhiệt và cho ổn định nhiệt độ 150°C trong vòng 24 giờ. Để nguội bình đến nhiệt độ phòng, lọc, rửa sản phẩm bằng nước và etanol, rồi đem sấy 24 giờ nhiệt độ 80°C , thu được sản phẩm C-ZnO.

2.2. Tổng hợp vật liệu C-ZnO/xenlulozơ (CZX)

Ngâm xenlulozơ trong nước cất 20 phút, sau đó đánh tơi. Thêm 3 giọt hồ tinh bột 1%, và 0,2 mL dung dịch AKD 5% và khuấy đều. Thêm xúc tác C-ZnO với tỉ lệ khối lượng C-ZnO/xenlulozơ là 10-60% và khuấy siêu âm 20 phút. Tiến hành thực hiện xeo giấy. Sấy giấy thu được ở 80°C trong 10 giờ, thu được các sản phẩm CZX10, CZX20, CZX40 và CZX60.

2.3. Nghiên cứu các đặc trưng tính chất của vật liệu vật liệu

Sự hình thành và biến đổi pha tinh thể của vật liệu tổng hợp được xác định bằng nhiễu xạ Ronghen (XRD) trên thiết bị D8 Advance của hãng Bruker (Đức) với bước sóng $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$. Hình thái học bề mặt vật liệu được quan sát bằng hiển vi điện tử quét SEM trên thiết bị Hitachi S-4800

(Nhật Bản). Đặc trưng dao động liên kết được nghiên cứu bằng phương pháp phổ hồng ngoại (FT-IR) trên máy 55 EQUINOX Bruker (Đức). Phân tích phổ phản xạ khuếch tán tử ngoại-khả kiến UV-Vis-DRS mẫu bột xúc tác trên máy V-500 JASCO (Nhật Bản).

2.4. Phân hủy MB của vật liệu dưới ánh sáng khả kiến

Các ứng dụng phân hủy quang MB của xúc tác được thực hiện ở nhiệt độ phòng, sử dụng bóng đèn Osram 250 W làm nguồn chiếu ánh sáng khả kiến và ánh sáng mặt trời từ 8-11 giờ. Hỗn hợp phản ứng gồm 100 mL dung dịch MB 7 ppm và một miếng xúc tác CZX kích thước 3x3 cm. Đầu tiên dung dịch phản ứng được khuấy nhẹ trong bóng tối 90 phút để đạt cân bằng hấp phụ giải hấp MB trên bề mặt xúc tác, sau đó bật đèn chiếu sáng dung dịch phản ứng. Khoảng cách từ đèn tới dung dịch phản ứng là 20 cm. Tại các thời điểm 0, 30, 60, 90, 120, 150, 180 và 210 phút, lấy 4 mL dung dịch, ly tâm tách xúc tác và đo mật độ quang ở bước sóng 664 nm trên thiết bị UV – Vis.

Hiệu suất (H%) phân hủy MB của phản ứng quang xúc tác được xác định theo công thức:

$$H\% = \frac{A_0 - A_t}{A_0} \times 100 = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100 \quad (1)$$

Trong đó: A_0 và A_t : mật độ quang MB tại thời điểm $t = 0$ phút và t phút.

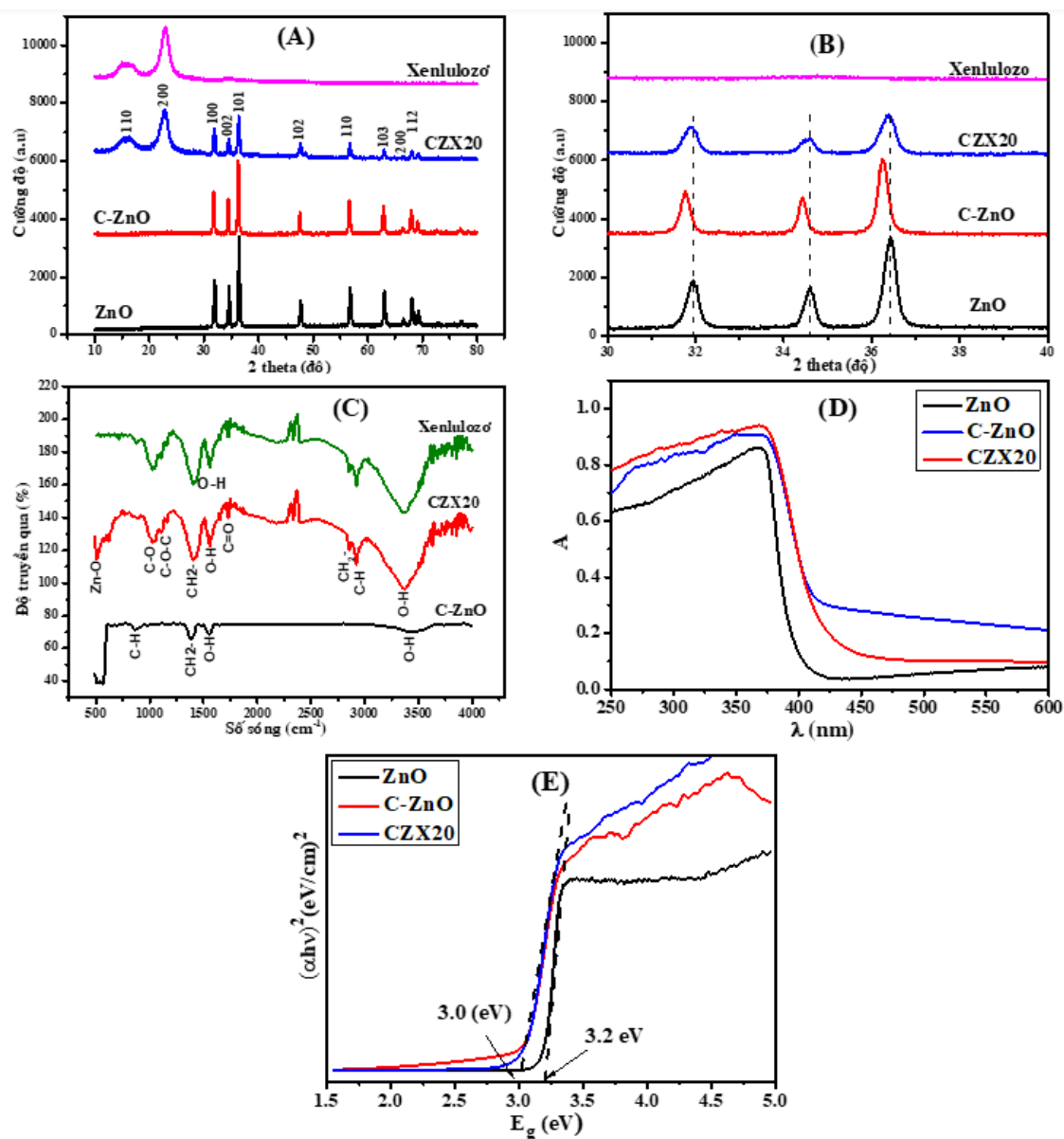
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả XRD, FT-IR và UV-Vis-DRS SEM của vật liệu

Cấu trúc và thành phần pha tinh thể các vật liệu tổng hợp thể hiện ở hình 1A và 1B. Hình 1A cho thấy, các đỉnh nhiễu xạ tương ứng với các mặt phẳng mạng (100), (002), (101), (102), (110), (103), (200) và (112) đặc trưng cho cấu trúc lục giác

wurtzite của ZnO (thẻ JCPDS số 36-1451) [12]. Nhận thấy, các đỉnh nhiễu xạ này cũng xuất hiện trên giản đồ của mẫu C-ZnO và CZX20, tuy nhiên vị trí các đỉnh bị dịch chuyển nhẹ về phía góc 2 theta bé hơn (hình 1B) so với mẫu ZnO. Điều này có thể do C pha tạp vào ZnO [13]. Bên cạnh đó, cũng quan sát thấy có sự giảm cường độ các đỉnh đặc trưng cho pha ZnO ở mẫu CZX20. Hơn thế, với sự xuất hiện thêm hai đỉnh nhiễu xạ tương ứng mặt phẳng mạng (110) và (200) trên mẫu CZX20, xác nhận rằng sự tồn tại của pha xenlulozơ trong mẫu.

Đặc trưng liên kết nhóm chức của vật liệu được nghiên cứu bằng phương pháp phổ hồng ngoại FT-IR (hình 1C). Dải hấp thụ rộng xuất hiện trong khoảng từ 3380 - 3425 cm^{-1} liên quan đến dao động kéo giãn O-H của các phân tử nước bị hấp phụ [14]. Dải nằm xung quanh 1560 cm^{-1} là do dao động uốn H-O-H của nước trong ZnO [15]. Một dải rộng quanh 2900 cm^{-1} đặc trưng dao động kéo giãn của liên kết C-H từ nhóm methyl thơm của cellulose và hemicellulose [16]. Dải yếu tại 1725 cm^{-1} được gán cho dao động liên kết C=O của nhóm xeton và carbonyl của hemicellulose. Dải hấp thụ cường độ mạnh quanh 1440 cm^{-1} đặc trưng cho dao động uốn cong đối xứng của nhóm $-\text{CH}_2$ hoặc dao động biến dạng C-H trong xenlulozơ và hemixenlulozơ [14]. Dải nằm quanh 1040 và 1120 cm^{-1} là có liên quan đến dao động kéo dài liên kết đơn C-O và C-O-C tương ứng. Dải hấp thụ yếu quanh 870 cm^{-1} là sự phối hợp của dao động liên kết C-H [13]. Với dải hấp thụ trong khoảng 500-600 cm^{-1} là do dao động kéo dài Zn-O. Dải hấp thụ này của mẫu CZX20 bị dịch chuyển sang số sóng thấp hơn so với mẫu C-ZnO, có thể là kết quả của việc kết hợp C-ZnO với xenlulozơ.



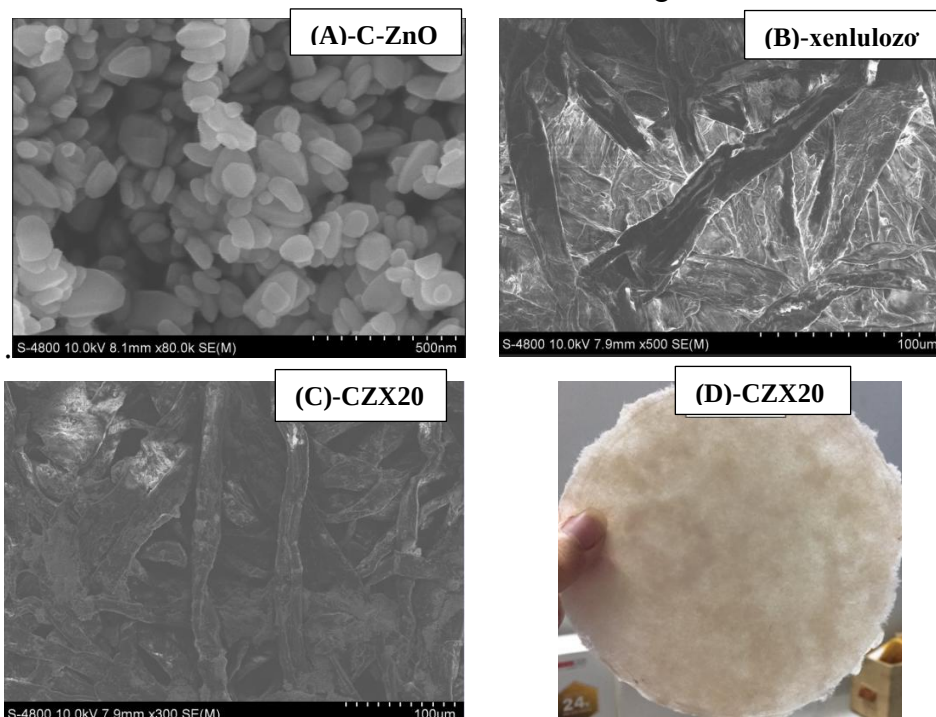
Hình 1. (A-B) Phổ XRD, (C) phổ FT-IR, (D) phổ UV-Vis-DRS và (E) đồ thị Tauc của các mẫu .

Tính chất hấp thu quang của vật liệu được nghiên cứu bằng phương pháp phổ phản xạ khuếch tán từ ngoại - khả kiến (UV-Vis-DRS). Hình 2D cho thấy các vật liệu hấp thu rất tốt ánh sáng từ ngoại và hấp thu kém vùng ánh sáng khả kiến. Tuy nhiên, sự hấp thu quang của vật liệu C-ZnO và CZX20 được cải thiện ở cả vùng tử ngoại và khả kiến so với ZnO. Bên cạnh đó, gờ hấp thu quang của C-ZnO và CZX20 cũng cho thấy một sự chuyển dịch

rõ rệt về phía bước sóng dài hơn so với ZnO tinh khiết. Phương pháp Tauc được sử dụng để xác định năng lượng vùng cấm của vật liệu trên cơ sở dữ liệu phổ UV-Vis-DRS. Kết quả hình 1E cho thấy, năng lượng vùng cấm của C-ZnO và CZX20 xấp xỉ bằng 3.0 eV, nhỏ hơn so với ZnO không pha tạp (3.2 eV). Từ đó, dựa vào công thức $E=hc/\lambda$, suy ra $\lambda = 413$ (C-ZnO và CZX20). Như vậy vật liệu CZX20 có khả năng hấp thu ánh sáng vùng tử ngoại và khả kiến với bước sóng $\lambda \leq 413$ nm.

Việc pha tạp C đã làm giảm năng lượng vùng cấm của ZnO, cải thiện khả năng hấp thụ quang hướng về vùng ánh sáng nhìn thấy. Hơn thế, sự kết hợp C-ZnO với xenlulozơ với tỉ lệ mol C-ZnO/xenlulozơ

là 20% nhưng không làm giảm khả năng hấp thụ quang của vật liệu. Điều này rất có ý nghĩa khi mà sự kết hợp này giúp nâng cao khả năng ứng dụng linh hoạt và tái sử dụng của xúc tác



Hình 2. Ảnh SEM của (A) C-ZnO, (B) xenlulozơ, (C) CZX20 và (D) ảnh chụp góc nghiêng thực tế của CZX20.

Ảnh SEM của các mẫu thể hiện ở hình 2. Hình 2A cho thấy các hạt nano C-ZnO hình thành rõ nét, khá đồng nhất về hình dạng và không bị kết tập. Các vi sợi xenlulozơ (hình 2B) với kích thước chiều rộng khoảng 20-30 μm đan xen lẫn nhau, bề mặt nhẵn. Các sợi này trở nên nhám hơn rõ rệt khi có sự kết hợp các hạt nano C-ZnO trên bề mặt (hình 2C). Bề mặt vật liệu CZX20 cũng cho thấy một sự phân bố khá đều các hạt C-ZnO trên các sợi xenlulozơ thông qua quá trình xeo giấy. Kết quả này xác nhận thêm sự tổng hợp thành công vật liệu CZX20.

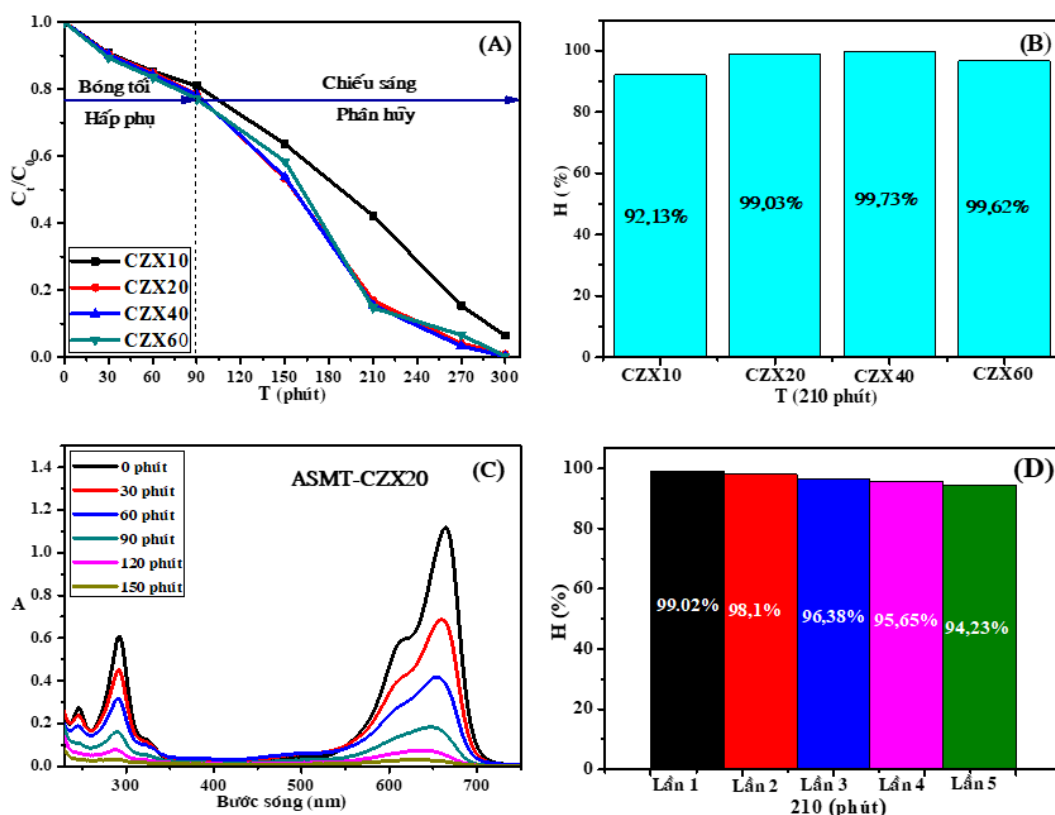
3.2. Phân hủy MB của vật liệu

Kết quả hình 3B cho thấy các mẫu đều có hiệu quả quang xúc tác tốt dưới ánh sáng khả kiến. Hiệu suất phân hủy MB đối với

mẫu CZX10 đạt 92,13%, với các mẫu còn lại, MB gần như bị phân hủy hoàn toàn sau 210 phút chiếu sáng. Hình 3A và 3B cho thấy, sự tăng tỉ lệ khối lượng C-ZnO/xenlulozơ từ 20% đến 60% đã ảnh hưởng không đáng kể đến hiệu quả phân hủy MB. Khi tăng tỉ lệ khối lượng C-ZnO/xenlulozơ từ 20-40% thì hiệu suất phản ứng tăng từ 99,02-99,73% và khi tiếp tục tăng tỉ lệ này lên 60% thì nhận thấy hiệu suất phân hủy giảm nhẹ xuống 99,62%. Sự tăng tỉ lệ khối lượng C-ZnO/xenlulozơ lên 40% dường như không có ý nghĩa, thậm chí còn giảm tác dụng xúc tác, do tác dụng che chắn lẫn nhau, gây nên một sự dư thừa xúc tác. Lớp xúc tác bên trong bị che chắn ánh sáng và tiếp xúc bề mặt với các phân tử MB bởi lớp xúc tác bên ngoài, dẫn đến làm giảm hiệu

suất lượng tử và giảm hiệu quả quang xúc tác. Từ kết quả này, vật liệu CZX20 được

lựa chọn cho các thí nghiệm tiếp theo.



Hình 3. (A) – (B): Phân hủy MB của vật liệu CZX10, CZX20, CZX40 và CZX60 dưới ánh sáng đèn Osram; (C): Phân hủy MB của CZX20 dưới ánh sáng mặt trời; (D) hiệu suất phân hủy MB sau 5 lần sử dụng của vật liệu CZX20.

Khả năng phân hủy MB dưới ánh sáng mặt trời của vật liệu CZX20 cũng được thử nghiệm (hình 3C). Kết quả, dung dịch MB bị phân hủy gần như hoàn toàn (trên 98,00%) sau 150 phút chiếu sáng. Hiệu quả phân hủy MB dưới ánh sáng mặt trời cao hơn ánh sáng đèn, bởi vì ánh sáng mặt trời bao gồm cả ánh sáng tử ngoại (~ 5%) và ánh sáng nhìn thấy nên năng lượng kích thích quang được tăng cường, do đó nâng cao hiệu suất lượng tử [1,17]. Thêm vào đó, khả năng tái sử dụng của vật liệu CZX20 cũng được nghiên cứu qua 5 lần sử dụng (4 lần tái chế). Vật liệu sau mỗi lần sử dụng được tái chế bằng cách rửa sạch nhiều lần qua nước cất và etanol, sau đó sấy khô ở 90 °C trong 10 giờ. Kết quả (hình 3D) cho thấy hiệu suất phân hủy MB

vẫn đạt trên 94,00% sau 4 lần tái sử dụng. Có thể thấy, vật liệu CZX20 có độ ổn định tốt và độ bền cao. Điều này bởi vì, thứ nhất các hạt nano C-ZnO phân tán khá đều trên bề mặt xenlulozơ (kết quả SEM), thứ 2 các hạt nano C-ZnO được cố định khá chắc chắn trên bề mặt xenlulozơ nhờ vào quá trình xeo giấy có sự hỗ trợ của AKD. AKD là chất phụ gia giúp định hình tờ giấy được tốt hơn, bên cạnh đó, giúp cố định các hạt C-ZnO trên bề mặt xenlulozơ. Hơn thế AKD giúp hạn chế tính thấm ướt của giấy, làm tăng độ bền vật liệu.

4. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, vật liệu ZnO pha tạp C cố định trên xenlulozơ (CZX) đã được tổng hợp thành công qua hai bước với tỉ lệ khối lượng C-ZnO/xenlulozơ khác nhau.

Nghiên cứu cấu trúc, thành phần pha, đặc trưng dao động liên kết nhóm chức và hình thái học bề mặt đều cho thấy, vật liệu gồm hai thành phần, bao gồm các hạt nano C-ZnO phân bố trên bề mặt các sợi xenlulozơ. Đặc trưng hấp thụ quang cho thấy vật liệu CZX có khả năng hấp thụ tốt ánh sáng tử ngoại và một phần ánh sáng nhìn thấy với bước sóng $\lambda \leq 413$ nm. Kết quả ứng dụng hoạt tính quang xúc tác của vật liệu CZX đạt hiệu suất trên 99% sau 210 phút chiếu ánh sáng nhìn thấy (đèn Osram) và đạt trên 98,00% sau 150 phút chiếu ánh sáng mặt trời. Đáng chú ý, là tính ổn định, độ bền của vật liệu, sau 4 lần tái sử dụng hiệu quả phân hủy MB vẫn đạt hiệu quả cao (trên 94,00%). Hơn thế, vật liệu dưới dạng tờ giấy nên có khả năng sử dụng dễ dàng, linh hoạt.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Phát triển khoa học và công nghệ Quốc gia (NAFOSTED) trong đề tài mã số 104.03-2023.21

Cam kết: Tôi xin cam đoan đây là công trình của tôi và cộng sự và chưa gửi đăng nội dung này ở bất kỳ tạp chí nào.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Gowthambabu, V.; Balamurugan, A.; Dhivya bharathy, R.; Satheeshkumar, S.; Kanmani, S.S, (2021), ZnO Nanoparticles as Efficient Sunlight Driven Photocatalyst Prepared by Solution Combustion Method Involved Lime Juice as Biofuel. *Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc*, **258**, 119857.
- [2]. Lee, K.M.; Lai, C.W.; Ngai, K.S.; Juan, J.C, (2016). Recent Developments of Zinc Oxide Based Photocatalyst in Water Treatment Technology: A Review. *Water Res*, **88**, 428–448.
- [3]. Chakrabarti, S.; Dutta, B.K, (2004). Photocatalytic Degradation of Model Textile Dyes in Wastewater Using ZnO as Semiconductor Catalyst. *J Hazard Mater*, **112**, 269–278.
- [4]. Viana, M.M.; Soares, V.F.; Mohallem, N.D.S, (2010). Synthesis and Characterization of TiO₂ Nanoparticles. *Ceram Int*, **36**, 2047–2053.
- [5]. Kolodziejczak-Radzimska, A.; Jesionowski, T, (2014). Zinc Oxide-from Synthesis to Application: A Review. *Materials*, **7**, 2833–2881.
- [6]. Utami, F.D.; Rahman, D.Y.; Sutisna; Kamirul; Margareta, D.O.; Abdullah, M, (2019). Photocatalyst Based on TiO₂ and Its Application in Organic Wastewater Treatment Using Simple Spray Method. *In Proceedings of the Journal of Physics: Conference Series*, **1204**.
- [7]. Anucha, C.B.; Altin, I.; Bacaksiz, E.; Stathopoulos, V.N, (2022). Titanium Dioxide (TiO₂)-Based Photocatalyst Materials Activity Enhancement for Contaminants of Emerging Concern (CECs) Degradation: In the Light of Modification Strategies. *Chemical Engineering Journal Advances*, **10**, 100262.
- [8]. Turkten, N.; Bekbolet, M, (2020). Photocatalytic Performance of Titanium Dioxide and Zinc Oxide Binary System on Degradation of Humic Matter. *J Photochem Photobiol A Chem*, **401**, 112748.
- [9]. Mohamed, K.M.; Benitto, J.J.; Vijaya, J.J.; Bououdina, M, (2023). Recent Advances in ZnO-Based Nanostructures for the Photocatalytic Degradation of Hazardous, Non-Biodegradable Medicines. *Crystals (Basel)*, **13**, doi:10.3390/cryst13020329.
- [10]. Cuong, N.H.; Loc, P.V.; Dung, N.D.; Tuan, T.Q, (2021). Study on fabrication of nano ZnO and carbon doped ZnO materials (ZnO-C), **2021**, 45–51.
- [11]. Ansari, S.A.; Ansari, S.G.; Foad, H.; Cho, M.H, (2017). Facile and Sustainable Synthesis of Carbon-Doped ZnO Nanostructures towards the Superior Visible Light Photocatalytic Performance. *New Journal of Chemistry*, **41**, 9314–9320.
- [12]. Narayanan, N.; Kannoth, D.N, (2017). Exploring p Type Conductivity in ZnO Thin Films by In–N Codoping for Homo-

- Junction Devices. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, **28**, 5962–5970.
- [13]. Luu, T.V.H.; Tho, N.T.M.; Thuy, T.T.T.; Thong, L.N.; Dung, N.T.; Dang, P.H, (2024). Synthetization Pill-like C-Doped ZnO Nano-Photocatalyst for Removing Ofloxacin and Methylene Blue under Visible Light. *J Solgel Sci Technol*, **110**, 204–220.
- [14]. Vârban, R.; Crişan, I.; Vârban, D.; Ona, A.; Olar, L.; Stoie, A.; Ştefan, R, (2021). Comparative Ft-Ir Prospecting for Cellulose in Stems of Some Fiber Plants: Flax, Velvet Leaf, Hemp and Jute. *Applied Sciences (Switzerland)*, **11**, doi:10.3390/app11188570.
- [15]. Nagaraju, G.; Udayabhanu; Shivaraj; Prashanth, S.A.; Shastri, M.; Yathish, K. V.; Anupama, C.; Rangappa, D, (2017). Electrochemical Heavy Metal Detection, Photocatalytic, Photoluminescence, Biodiesel Production and Antibacterial Activities of Ag–ZnO Nanomaterial. *Mater Res Bull*, **94**, 54–63.
- [16]. Schott, J.A.; Do-Thanh, C.L.; Shan, W.; Puskar, N.G.; Dai, S.; Mahurin, S.M, (2021). FTIR Investigation of the Interfacial Properties and Mechanisms of CO₂ Sorption in Porous Ionic Liquids. *Green Chemical Engineering*, **2**, 392–401.
- [17]. López-López, J.; Tejeda-Ochoa, A.; López-Beltrán, A.; Herrera-Ramírez, J.; Méndez-Herrera, P, (2022). Sunlight Photocatalytic Performance of Zno Nanoparticles Synthesized by Green Chemistry Using Different Botanical Extracts and Zinc Acetate as a Precursor. *Molecules*, **27**.