

Tóm lược các phương pháp xanh chế tạo các vật liệu hạt nano Ag_2O NPs và khả năng xúc tác quang, kháng khuẩn của vật liệu

Tạ Ngọc Dũng^{1*}

Trường Hóa và Khoa học Sự sống, Đại học Bách Khoa Hà Nội

TỪ KHOÁ

Nano oxit bạc
 Ag_2O NPs
Kháng khuẩn tốt
Xúc tác quang
Phương pháp xanh
Chiết xuất thực vật

TÓM TẮT

Các hạt nano oxit bạc (Ag_2O NPs) chế tạo theo phương pháp xanh với chiết xuất đi từ thực vật có vai trò trong tổng hợp vật liệu làm chất khử và ổn định đã được tóm lược theo các tài liệu tham khảo. Các phép đo đặc tính vật liệu được khảo sát gồm: phổ hấp thụ UV-vis, XRD, SEM. Khảo sát tính chất xúc tác quang, kháng khuẩn và kháng màng sinh học của Ag_2O NPs cũng được trình bày. Kích thước tinh thể Ag_2O NPs được tính theo phương trình Debye-Scherrer có kích thước nhỏ cỡ nano-mét trong khoảng 6,2-39 nm. Năng lượng vùng cấm quang E_g của hạt nano Ag_2O là hẹp cỡ khoảng 1,23-2,86 eV, được xác định sử dụng phương trình Tauc dựa theo phổ UV-vis. Vật liệu hạt nano Ag_2O NPs chế tạo được đạt độ ổn định cao, đặc tính xúc tác quang phân hủy chất màu hữu cơ, kháng khuẩn, kháng màng sinh học tốt nổi bật. Cho thấy vật liệu nano Ag_2O NPs này là vật liệu hoàn toàn có khả năng được nghiên cứu sâu rộng hơn cho chế tạo vật liệu nano để thay thế tốt được cho vật liệu nano Ag NPs cũng trong những lĩnh vực ứng dụng tương tự.

KEYWORDS

Nano silver oxide
 Ag_2O NPs
Good antibacterial
Photocatalytic
Green method
Plant extract

ABSTRACT

Silver oxide nanoparticles (Ag_2O NPs) prepared by green method with plant extracts have a role in the synthesis of materials as reducing and stabilizing agents which have been summarized according to the references. Material characterization measurements investigated include: UV-vis absorption spectrum, XRD, SEM. Investigation of photocatalytic, antibacterial and anti-biofilm properties of Ag_2O NPs were also presented. The crystal sizes of Ag_2O NPs were calculated by the Debye-Scherrer equation with a nanometer size in the range of 6.2-39 nm. The optical band gap energy E_g of Ag_2O nanoparticles was narrow in the range of 1.23-2.86 eV which determined using Tauc equation (based on UV-vis spectrum). The fabricated Ag_2O NPs nanoparticles material has high stability, good photocatalytic properties in decomposing organic dyes and outstanding antibacterial and anti-biofilm properties. It shows that this Ag_2O NPs nano material is a material that is completely capable of being studied more extensively for nanomaterial fabrication to be a good substitute for Ag NPs nano material in similar application fields.

1. Giới thiệu

Vật liệu hạt nano kim loại cũng như nano oxit kim loại đã được rất nhiều công trình nghiên cứu quan tâm do những tính chất lý hóa thú vị của vật liệu, chẳng hạn như: tính chất xúc tác quang, quang học, điện, điện hóa, điện tử... [1-6]. Đã có nhiều phương pháp hóa học và vật lý được sử dụng để tổng hợp các hạt nano oxit kim loại. Tuy nhiên, các phương pháp này khá tốn kém và cũng liên quan đến việc sử dụng các hóa chất độc hại, nguy hiểm làm chất khử và chất ổn định, làm ảnh hưởng đến môi trường sinh thái. Do đó, nhu cầu về việc phát triển các quy trình chế tạo vật liệu thân thiện với môi trường thông qua phương pháp chế tạo xanh và các phương pháp sinh học khác ngày càng đòi hỏi cao [7-12]. Để đạt được tính hiệu quả về chi phí, bản chất vật liệu phải được thân thiện với môi trường và dễ xử lý, thì các phương pháp xanh chế tạo vật liệu nano đã được xem xét là phương pháp thay thế an toàn hơn cho các phương pháp vật lý, hóa học và vi sinh trước đây. Việc phát triển các

quy trình xanh và thân thiện với môi trường để chế tạo các vật liệu hạt nano kim loại, nano oxit kim loại quý đã và đang trở thành một nhánh quan trọng của công nghệ nano. Trong phương pháp xanh chế tạo vật liệu nano thì có ba yếu tố chính trong quá trình điều chế hạt nano đó là: (i) lựa chọn môi trường dung môi, (ii) lựa chọn chất khử thân thiện với môi trường và (iii) lựa chọn vật liệu không độc hại để chế tạo và ổn định hạt nano [13-22]. Do đó, phương pháp xanh chế tạo vật liệu nano kim loại, nano oxit kim loại là phù hợp trong những nghiên cứu hiện nay để chế tạo được các sản phẩm vật liệu nano thân thiện môi trường, phát huy tối đa những tiềm năng ứng dụng của vật liệu. Trong bài viết này trình bày về “Tóm lược các phương pháp xanh chế tạo các vật liệu hạt nano Ag_2O NPs và khả năng xúc tác quang, kháng khuẩn của vật liệu”.

2. Thực nghiệm

2.1. Các hóa chất sử dụng

*Liên hệ tác giả: dung.tangoc@hust.edu.vn

Nhận ngày 15/07/2025, sửa xong ngày 25/08/2025, chấp nhận đăng ngày 01/08/2025

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.04.2025.1054>

+ Các nguyên liệu đầu sử dụng cho chế tạo oxit bạc thuộc loại tinh khiết Sigma-Aldrich: AgNO_3 (99,9 %), NaOH (98 %), CH_3COOH (98 %), nước cất 2 lần;

+ Các chiết xuất thực vật được sử dụng trong phương pháp xanh chế tạo các hạt nano Ag_2O NPs có vai trò làm tác nhân khử và ổn định như: chiết xuất từ cây *H. hirsuta* (thuộc tỉnh Ouezzane phía Bắc Maroc (Bắc Phi)), chiết xuất từ quả *M. flexuosa* (một loại chiết xuất từ hạt của cây cọ Moriche ở vùng Amazon), sử dụng dịch nổi nuôi cấy *Bacillus paramycoides* (được phân lập từ mẫu trầm tích rừng ngập mặn ở Karankadu, Tamil Nadu, Ấn Độ; Hạt giống *B. paramycoides* (5 %) được nuôi cấy vào môi trường dinh dưỡng tươi, ủ trong 36 giờ ở 35 °C. Dịch nổi không chứa tế bào được thu được bằng cách ly tâm), chiết xuất từ vỏ cây mít (*Artocarpus heterophyllus*), cây lõi thọ (quả *G. arborea* (Gmelina arborea), nguồn gốc Nam Á), cây *Piper auritum* (từ các chợ địa phương ở Guadalajara, Mexico), lá cây sồi Anh (vùng rừng Mashrouha của Souk Ahras), lá cây chà là (nguồn gốc Đông Nam Algeria).

2.2. Các phương pháp xanh chế tạo nano Ag_2O NPs sử dụng chiết xuất thực vật làm chất khử và ổn định theo tài liệu tham khảo [16-22]

Các phương pháp xanh chế tạo các hạt nano oxit bạc (Ag_2O NPs) sử dụng chiết xuất thực vật đóng vai trò làm chất khử và ổn định (theo các tài liệu tham khảo [16-22]) sẽ theo lộ trình cơ bản gần như nhau sau: Dung dịch AgNO_3 (nồng độ theo tính toán) đã được chuẩn bị trước. Sau đó thêm lượng chất chiết xuất thực vật và dung dịch hỗn hợp được khuấy liên tục ở nhiệt độ phòng theo thời gian thực nghiệm (24 giờ). Tiếp theo, dung dịch sền sệt thu được cho ly tâm ở tốc độ 3000-6000 vòng/phút ở 25 °C trong 30 phút để rửa mẫu và đưa đi sấy khô ở nhiệt độ 80 °C trong 8 giờ, thu được mẫu bột nano oxit bạc (Ag_2O NPs) (Màu sắc của mẫu hạt nano Ag_2O NPs chế tạo có thể được xác nhận theo sự thay đổi màu từ vàng nhạt sang nâu đậm) [18].

3. Các kết quả thực nghiệm và thảo luận

3.1. Kết quả phổ hấp thụ UV-vis

Phổ hấp thụ UV-vis của các mẫu hạt nano Ag_2O (Ag_2O NPs) chế tạo theo các thực nghiệm [16-19] được thể hiện ở Hình 1 (a,b,c,d). Các hạt nano Ag_2O có phổ hấp thụ đặc trưng nằm trong khoảng bước sóng $\lambda \approx 430\text{-}460\text{ nm}$ [5,8,13-22]. Điều này cho thấy là phép đo phổ UV-vis sẽ là một trong những phép đo đặc trưng để xác định đỉnh phổ xuất hiện các hạt nano oxit bạc đó là nằm trong khoảng bước sóng $\lambda \approx 430\text{-}460\text{ nm}$.

3.2. Kết quả nhiễu xạ tia X (XRD)

Hình 2 (a,b,c,d) là kết quả nhiễu xạ tia X (XRD) của các mẫu hạt nano Ag_2O (Ag_2O NPs) theo các tài liệu tham khảo [5,8,13-22]. Các đỉnh nhiễu xạ của các mẫu được xuất hiện ở các vị trí đỉnh nhiễu xạ $2\theta \approx 27,28, 33,2, 46,3, 55,4, 67,2, 76,7^\circ$ mà tương ứng với các mặt họ mạng (110), (111), (211), (220), (222) và (311) của các hạt nano tinh thể

Ag_2O NPs với cấu trúc tinh thể lập phương tâm mặt [JCPDS, File No. 00-012-0793][5,8,13-22]. Các số liệu về kích thước tinh thể D (nm) được xác định theo Debye-Scherrer ($D = (0,9 \times \lambda) / (\beta \times \cos \theta)$), và hằng số mạng a (Å) của các mẫu hạt nano Ag_2O (Ag_2O NPs) được tóm tắt trong Bảng 1. (trong đó, D là kích thước tinh thể (nm), β là tổng chiều rộng tại một nửa đỉnh nhiễu xạ cực đại (FWHM) của đỉnh nhiễu xạ mạnh nhất (111), λ là bước sóng tia X (đối với Cu-K α $\lambda = 1,5406$ Å), và θ là góc nhiễu xạ Bragg).

Bảng 1. Kích thước tinh thể D (nm) được xác định theo Debye-Scherrer và hằng số mạng a (Å) của các mẫu hạt nano Ag_2O (Ag_2O NPs) [16-19].

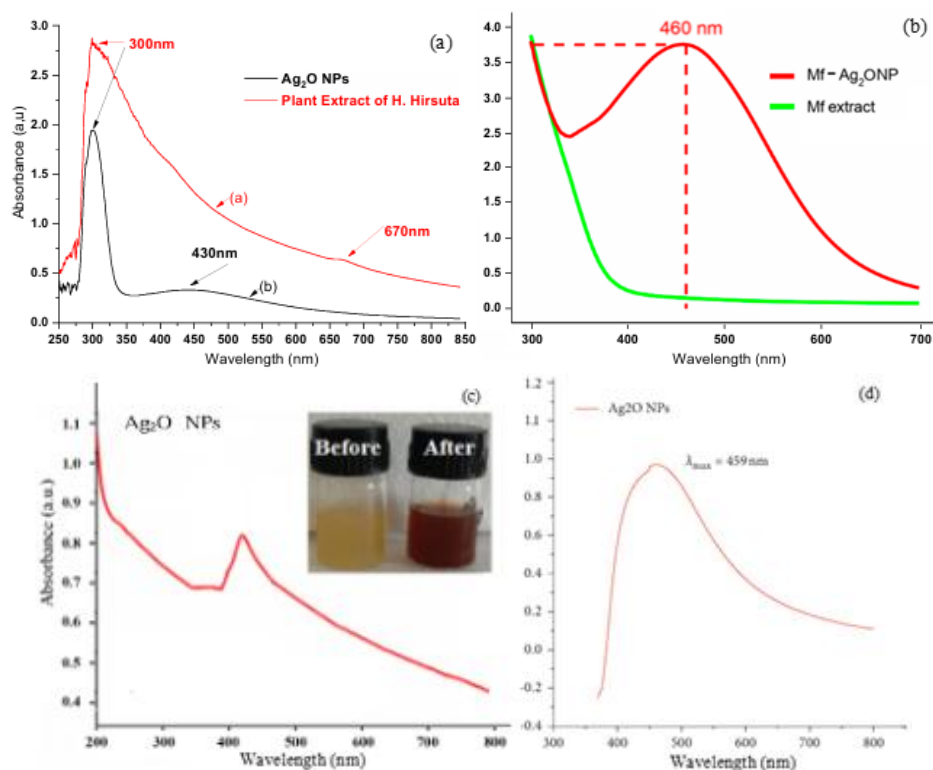
Mẫu	2θ (degree); (hkl)	D (nm)	a (Å)
Mẫu (a) [16]	33,36°; (111)	15,51	-
Mẫu (b) [17]	33,2°; (111)	$25 \pm 8,7$	-
Mẫu (c) [18]	32,22°; (111)	20,5	-
Mẫu (d) [19]	$\sim 33,28^\circ$; (111)	6,2	4,728

3.3. Kết quả hiển vi điện tử quét (SEM)

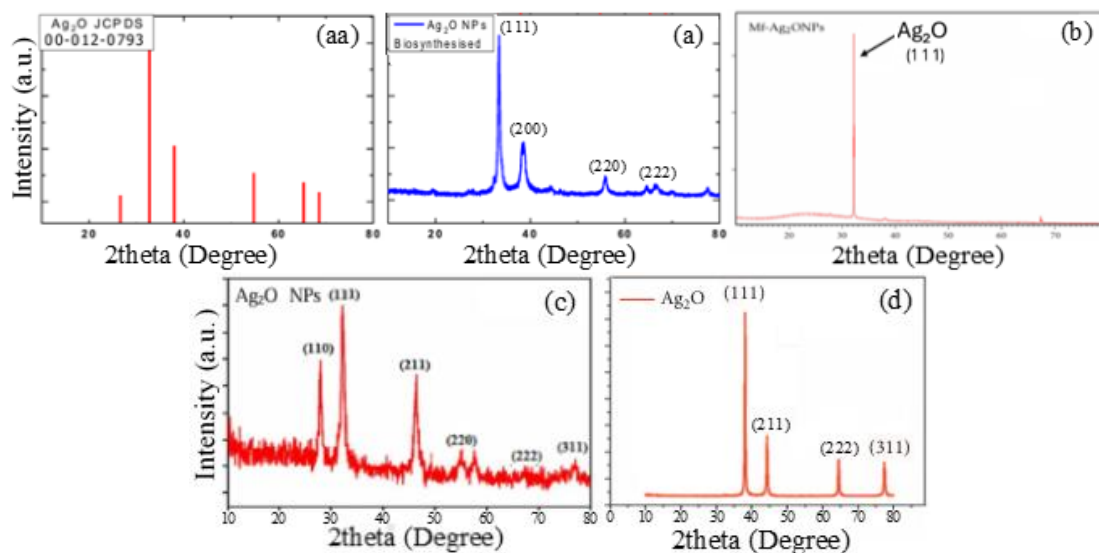
Hình ảnh kính hiển vi điện tử quét (SEM) của các hạt nano Ag_2O (Ag_2O NPs) theo các tài liệu được thể hiện ở Hình 3 (a,b,c,d). Phép đo đặc trưng SEM được sử dụng để nghiên cứu hình thái của hạt nano Ag_2O và kích thước hình thái của chúng [16-19]. Với hình dáng các hạt nano Ag_2O NPs quan sát được trên Hình 3 (a,b,c,d) theo các tài liệu tham khảo thì đều cho hầu hết các hạt nano Ag_2O NPs này đều có dạng hình cầu, với đường kính trung bình của các hạt nano tinh thể trong khoảng $\sim 25\text{-}70\text{ nm}$ [16-19], phù hợp với tính kích thước tinh thể nano Ag_2O NPs theo phổ XRD ở trên.

3.4. Khả năng xúc tác quang phân hủy chất màu hữu cơ và kháng khuẩn của các hạt nano Ag_2O (Ag_2O NPs)

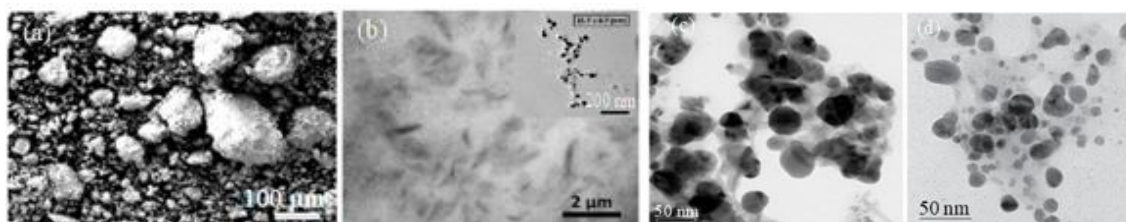
Bảng 2 là liệt kê tính chất xúc tác quang, kháng khuẩn của các mẫu hạt nano Ag_2O (Ag_2O NPs) theo các tài liệu tham khảo. Theo như kết quả đưa ra trong Bảng 2 thì các mẫu hạt nano Ag_2O (Ag_2O NPs) đạt được theo phương pháp tổng hợp sinh học (tổng hợp xanh) đi từ chiết xuất thực vật (chiết xuất từ lá cây, vỏ cây, quả, rễ cây...) [16-22] đạt được kích thước hạt nhỏ cỡ nano-mét 6,2-39 nm, năng lượng vùng cấm quang xác định theo phương trình Tauc, dựa theo phổ UV-vis, đạt được là hẹp cỡ khoảng 1,23-2,86 eV. Các tính chất xúc tác quang, kháng khuẩn và kháng màng sinh học của Ag_2O NPs đạt được là tuyệt vời (theo Bảng 2) và cho thấy là có thể thay thế được vật liệu hạt nano Ag NPs [16-22].



Hình 1 (a,b,c,d). Phổ hấp thụ UV-vis của các mẫu hạt nano Ag_2O (Ag_2O NPs) theo các tài liệu [1-4].



Hình 2 (a,b,c,d). Giản đồ nhiễu xạ XRD của các hạt nano Ag_2O (Ag_2O NPs) theo các tài liệu [16-19].



Hình 3 (a,b,c,d). Hình ảnh kính hiển vi điện tử quét (SEM) của các hạt nano Ag_2O (Ag_2O NPs) theo các tài liệu [16-19].

Bảng 2. Liệt kê tính chất xúc tác quang, kháng khuẩn của các mẫu hạt nano Ag₂O NPs theo các tài liệu tham khảo [16-22].

STT	Tên mẫu	Tác nhân khử và ổn định trong phương pháp xanh chế tạo hạt nano Ag ₂ O	Kích thước tinh thể Ag ₂ O theo Debye-Scherrer (nm)	Năng lượng vùng cấm quang Eg (sử dụng phương trình Tauc) (eV)	Tính chất xúc tác quang, kháng khuẩn của các mẫu hạt nano Ag ₂ O (Ag ₂ O NPs)	Tài liệu tham khảo
1	Mẫu a (Ag ₂ O NPs)	Chiết xuất từ cây H. hirsuta được thu hoạch ở tỉnh Ouezzane phía Bắc Maroc (Bắc Phi)	15,51 nm	1,23 eV	Hiệu suất phân hủy Metylen xanh (MB) đạt 88,6% dưới chiếu ánh sáng nhìn thấy, hằng số tốc độ phân hủy k = 0,020 phút ⁻¹	[16]
2	Mẫu b (Mf-Ag ₂ O NPs)	Chiết xuất từ quả M. flexuosa (Mauritia flexuosa -một loại chiết xuất từ hạt của cây cọ Moriche ở vùng Amazon)	25,7 ± 8,7 nm	-	Tác dụng kháng khuẩn mạnh mẽ đối với cả các chủng vi khuẩn không kháng thuốc và đa kháng thuốc, với nồng độ ức chế tối thiểu (MIC) dao động từ 11,25 đến 45 µg/mL. Hiệu quả kháng nấm cũng đáng kể, đặc biệt là đối với Candida glabrata, với MIC là 5,63 µg/mL. Các hạt nano này cũng cho thấy khả năng ức chế màng sinh học mạnh mẽ, đặc tính chống oxy hóa đáng kể, nhấn mạnh tiềm năng chống lại stress oxy hóa của chúng	[17]
3	Mẫu c (Ag ₂ O NPs)	Sử dụng dịch nổi nuôi cấy Bacillus paramycoides (được phân lập từ mẫu trầm tích rừng ngập mặn ở Karankadu, Tamil Nadu, Ấn Độ; Hạt giống B. paramycoides (5%) được nuôi cấy vào môi trường dinh dưỡng tươi, ủ trong 36 giờ ở 35 °C. Dịch nổi không chứa tế bào được thu được bằng cách ly tâm)	20,5 nm	-	Hoạt tính kháng khuẩn và kháng màng sinh học tuyệt vời chống lại sự hình thành màng sinh học biển của các vi khuẩn V. parahaemolyticus, Salmonella sp., Enterobacter sp. và Micrococcus sp. Các nghiên cứu xác nhận khả năng của hạt nano Ag ₂ O trong việc kiểm soát sự hình thành màng sinh học. Chúng cũng cho thấy độc tính tế bào đáng kể trên tế bào ung thư phổi A549, và được xử lý trên tế bào A549 cho thấy nhân tế bào chết theo chương trình và chromatin phân tách tại ranh giới màng nhân	[18]
4	Mẫu d (Ag ₂ O NPs)	Chiết xuất từ thực vật như chiết xuất từ vớ cây mít (Artocarpus heterophyllus); chiết xuất từ quả G. arborea (Gmelina arborea –còn gọi là cây lõi thọ, nguồn gốc Nam Á)	6,2 nm	1,43 eV	Hiệu suất phân hủy Metyl dacam (MO) đạt 100% dưới chiếu ánh sáng nhìn thấy trong 160 phút khi sử dụng chiết xuất từ vớ cây mít; phân hủy xúc tác quang hoàn toàn của Methyl blue (MB) trong 10 phút khi sử dụng chiết xuất quả G. arborea;	[19]
5	Mẫu e (Ag ₂ O NPs)	Chiết xuất bộ phận trên mặt đất của cây Piper auritum (“Hoja Santa”, nguồn gốc được lấy từ các chợ địa phương ở Guadalajara, Mexico)	10 nm	-	Là tác nhân kháng khuẩn, nồng độ dưới 1 mg/mL cho khả năng ức chế trên 90% đối với cả vi khuẩn Gram dương và Gram âm; ngăn ngừa sự hình thành màng sinh học của Pseudomonas aeruginosa. Ở nồng độ thích hợp, hạt nano Ag ₂ O có thể sử dụng để loại bỏ các mối đe dọa từ mầm bệnh. Hoạt tính chống oxy hóa là vượt trội so với các hợp chất thường được sử dụng trong các sản phẩm thương mại.	[20]

STT	Tên mẫu	Tác nhân khử và ổn định trong phương pháp xanh chế tạo hạt nano Ag ₂ O	Kích thước tinh thể Ag ₂ O theo Debye-Scherrer (nm)	Năng lượng vùng cấm quang Eg (sử dụng phương trình Tauc) (eV)	Tính chất xúc tác quang, kháng khuẩn của các mẫu hạt nano Ag ₂ O (Ag ₂ O NPs)	Tài liệu tham khảo
6	Mẫu f (Ag ₂ O NPs)	Chiết xuất lá cây sồi Anh (vùng rừng Mashrouha của Souk Ahras)	-	-	Hiệu suất phân hủy Metylen xanh (MB) đạt 87% dưới chiếu ánh sáng đèn LED SMD-IP66 50W, hằng số tốc độ phân hủy k = 4,02.10 ⁻² phút ⁻¹	[21]
7	Mẫu g (Ag ₂ O NPs)	Chiết xuất lá cây chà là (nguồn gốc Đông Nam Algeria)	28-39 nm	2,07-2,86	Tính chất xúc tác quang phân hủy Congo đỏ (CR) đạt hiệu suất 84,50% trong 50 phút dưới chiếu ánh sáng nhìn thấy, hằng số tốc độ phân hủy k = 0,137 phút ⁻¹	[22]

4. Kết luận

Phương pháp xanh chế tạo hạt nano Ag₂O cho thấy đây là một trong những phương pháp mới và thích hợp để chế tạo cấu trúc nano oxit bạc (Ag₂O NPs) với hiệu suất cao và các đặc tính xúc tác quang, kháng khuẩn, kháng màng sinh học tốt nổi bật. Các tác nhân khử ổn định cho chế tạo Ag₂O NPs đi từ thực vật đã được trình bày từ các tài liệu tham khảo như [16-22]: chiết xuất từ cây H. hirsuta, chiết xuất từ quả M. flexuosa, sử dụng dịch nuôi cấy Bacillus paramycoides, chiết xuất từ vỏ cây mít, cây lõi thọ, cây Piper auritum, lá cây sồi Anh, lá cây chà là. Kích thước tinh thể Ag₂O NPs tính theo Debye-Scherrer đạt được trong khoảng 6,2-39 nm. Năng lượng vùng cấm quang Eg được xác định sử dụng phương trình Tauc dựa theo phổ UV-vis, đạt được hẹp cỡ khoảng 1,23-2,86 eV. Các hạt nano oxit bạc Ag₂O NPs cho thấy là đạt được hiệu quả tương đương với hạt nano bạc Ag NPs [1-3,5,8,13-22], và là lựa chọn thay thế Ag NPs (thuộc loại vật liệu đắt tiền) cho những ứng dụng xúc tác quang phân hủy chất màu hữu cơ có hại, thuốc nhuộm, kháng khuẩn tốt, các tác nhân kháng màng sinh học hóa học, mở ra những tiến bộ trong việc bào chế các chất chống bám bẩn và tác nhân chống ung thư tiềm năng.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Abhinav Sati, Tanvi N. Ranade, Suraj N. Mali, et al., *Silver Nano particles (AgNPs): Comprehensive Insight into Bio/Synthesis, Key Influencing Factors, Multifaceted Applications, and Toxicity*, ACS Omega, 10,7 549-7582 (2025).
- [2]. J. Natsuki, T. Natsuki, Y. Hashimoto, *A Review of Silver Nanoparticles: Synthesis Methods, Properties and Applications*, International Journal of Materials Science and Applications, 4, 325-332 (2015).
- [3]. S. Habouti, C.-H. Solterbeck, M. Es-Souni, *Synthesis of Silver Nano-Fir-Twigs and Application to Single Molecules Detection*, J. Mater. Chem., 20, 5215-5219 (2010).
- [4]. P. Rajapaksha, R. Orrell-Trigg, D. Shah, S. Cheeseman, K. B. Vu, S. T. Ngo, B. J. Murdoch, N. R. Choudhury, H. Yin, D. Cozzolino, et al., *Broad Spectrum Antibacterial Zinc Oxide-Reduced Graphene Oxide Nanocomposite for Water Depollution*, Mater. Today Chem., 27, 101242 (2023).
- [5]. Zainub Khatun, Reena Shirley Lawrence, et al., *Green synthesis and Antibacterial activity of Silver Oxide nanoparticles prepared from Pinuslongifolia leaves extract*, International Journal of Advanced Research, 3(11), 337-343 (2015).
- [6]. Revathi Janardhanan, Murugan Karuppaiah, Neha Hebalkar, Tata Narsinga Rao, *Synthesis and surface chemistry of nano silver particles*, Polyhedron, 28, 2522-2530 (2009).
- [7]. Njud S. Alharbi and Nehad S. Alsubhi, *Silver Nanoparticles Biosynthesized Using Azadirachta indica Fruit and Leaf Extracts: Optimization, Characterization, and Anticancer Activity*, J. Nanomaterials, Article ID 9916777, 17 pages (2023).
- [8]. Sanjana Afrin Disha, Md. Sahadat Hossain, et al., *Green Synthesis of Nano-Sized Metal Oxides (Ag₂O, CuO, ZnO, MgO, CaO, and TiO₂) Using Plant Extract for a Sustainable Environment*, NanoSelect, e70000, 1-23 (2025).
- [9]. M. Parashar, V.K. Shukla, R. Singh, *Metal Oxides Nanoparticles via Sol-Gel Method: A Review on Synthesis, Characterization and Applications*, J. Materials Science: Materials in Electronics, 31, 3729-3749 (2020).
- [10]. T. Tsuzuki, *Mechanochemical Synthesis of Metal Oxide Nanoparticles*, Communications Chemistry, 4, 1-11 (2021).
- [11]. J. H. Bang and K. S. Suslick, *Applications of Ultrasound to the Synthesis of Nanostructured Materials*, Advanced Materials, 22, 1039-1059 (2010).
- [12]. J. Jeevanandam, S.F. Kiew, S. Boakye-Ansah, et al., *Green Approaches for the Synthesis of Metal and Metal Oxide Nanoparticles Using Microbial and Plant Extracts*, Nanoscale, 14, 2534-2571 (2022).
- [13]. S.K. Ghotekar, et al., *A Review on Biomimetic Synthesis of Ag₂O Nanoparticles using Plant Extract, Characterization and its Recent Applications*, Advanced Journal of Chemistry, Section B, 2(3), 102-111 (2020).
- [14]. Susan Torabi, Mohammad Javad Khoshnood Mansoorkhani, Ali Majedi & Somayeh Motevalli, *REVIEW: Synthesis, Medical And Photocatalyst Applications Of Nano-Ag₂O*, Journal of Coordination Chemistry, 1-20 (2020).
- [15]. Ashish A. Rokade, Maheshkumar P. Patil, Seong Il Yoo, Won Ki Lee & Seong Soo Park, *Pure green chemical approach for synthesis of Ag₂O nanoparticles*, Green Chemistry Letters and Reviews, 9(4), 216-222 (2016).
- [16]. Brahim El-Ghmari, et al., *A New Approach for the Green Biosynthesis of Silver Oxide Nanoparticles Ag₂O, Characterization and Catalytic Application*, Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis, 16(3), 651-660 (2021).
- [17]. Johana Zúñiga-Miranda, et al., *Green Synthesis of Silver Oxide Nanoparticles from Mauritia flexuosa Fruit Extract: Characterization and Bioactivity*

- Assessment, *Nanomaterials*, 14, 1875(1-26) (2024).
- [18]. Divya Dharmaraj, et al., *Antibacterial and Cytotoxicity Activities of Biosynthesized Silver Oxide (Ag_2O) Nanoparticles Using *Bacillus paramycoides**, *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 1-36 (2020).
- [19]. Workneh M. Shume, et al., *A Review on Synthesis and Characterization of Ag_2O Nanoparticles for Photocatalytic Applications*, *Journal of Chemistry*, Article ID 5039479, 15 pages (2020).
- [20]. D.S. Aguilar-Ávila, M. Reyes-Becerril, C.A. Velázquez-Carriles, G. Hinojosa-Ventura, et al., *Biogenic Ag_2O nanoparticles with “Hoja Santa” (*Piper auritum*) extract: characterization and biological capabilities*, *Biometals*, 26, 1-13 (2024).
- [21]. Selma Redjili, et al., *Green synthesis of silver oxide nanoparticles: Eco-friendly approach for sustainable solutions*, *Industrial Crops & Products*, 223, 120168 (2025).
- [22]. Salah Eddine Laouini, et al., *Green Synthesized of Ag/Ag_2O Nanoparticles Using Aqueous Leaves Extracts of *Phoenix dactylifera* L. and Their Azo Dye Photodegradation*, *Membranes*, 11, 468(1-16) (2021).