

Tổng hợp và hoạt tính quang xúc tác của vật liệu g-C₃N₄/CdS dưới ánh sáng nhìn thấy Synthesis and photocatalytic activity of g-C₃N₄/CdS materials under visible light

Nguyễn Thị Việt Nga¹, Trần Ngọc Thiên Trường², Nguyễn Văn Lượng², Hoàng Nữ Thùy Liên², Nguyễn Văn Kim^{2*}

¹Khoa Sư phạm Trường Đại học Quy Nhơn - 170 An Dương Vương, Quy Nhơn, Bình Định

²Khoa Khoa học Tự nhiên, Trường Đại học Quy Nhơn - 170 An Dương Vương, Quy Nhơn, Bình Định

*Email: nguyenvankim@qnu.edu.vn

ARTICLE INFO

Received: 22/6/2022

Accepted: 22/7/2022

Published: 30/7/2022

Keywords:

g-C₃N₄/CdS, photocatalyst, methylene blue, visible light

ABSTRACT

The g-C₃N₄/CdS composite photocatalysts consisting of cadmium sulfide (CdS) and graphitic carbon nitride (g-C₃N₄) with a different mass ratio of CdS were successfully prepared and denoted as CNCS-1:1, CNCS-1:3, CNCS-1:5. The obtained materials were characterized by X-Ray diffraction (XRD), infrared spectra (IR), energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS), scanning electron microscopy (SEM), and UV-vis diffuse reflectance spectroscopy (UV-vis DRS). The UV-vis DRS results showed that CNCS-1:1, CNCS-1:3 and CNCS-1:5 materials possess bandgap of around 2.31, 2.25 and 2.28 eV, respectively. The photocatalytic activity of the materials was assessed by degradation of methylene blue (MB) under visible light. Among the three materials, CNCS-1:3 exhibited the highest photocatalytic activity. The enhancement of photocatalytic activity of the CNCS-1:3 (or g-C₃N₄/CdS) composites compared to single components, g-C₃N₄ and CdS was observed, which can be attributed to the reduction of combination rate of photogenerated electron – hole pairs in the composites.

Giới thiệu chung

Ánh sáng mặt trời là nguồn năng lượng sạch và dồi dào nhất, việc tạo ra các hệ thống quang hợp nhân tạo có thể chuyển đổi năng lượng mặt trời thành nhiên liệu hóa học đã được thực hiện. Trong số rất nhiều công nghệ được đề xuất, công nghệ quang xúc tác được coi là một trong những chiến lược tối ưu để giải quyết tình trạng thiếu năng lượng toàn cầu và ô nhiễm môi trường. Một mặt, công nghệ quang xúc tác có thể sử dụng năng lượng mặt trời để sản xuất một số nhiên liệu hóa học có giá trị như hydrogen từ quá trình quang phân tách nước [1], sản xuất hydrocarbon từ quá trình khử carbon dioxide [2]. Mặt khác, công nghệ

này có thể làm sạch môi trường bằng cách phân hủy quang xúc tác các chất hóa học độc hại khác nhau [3, 4]. Chất bán dẫn sulfide kim loại có năng lượng vùng cấm hẹp và giá trị vùng dẫn thích hợp. Vì vậy, loại vật liệu này được sử dụng làm chất xúc tác quang dưới vùng ánh sáng nhìn thấy [5–8].

Cadmium sulfide là một vật liệu bán dẫn có bandgap hẹp, khoảng 2,17–2,85 eV [9, 10] nên hấp thụ tốt ánh sáng nhìn thấy. Mặt khác, vật liệu này còn có khả năng phân tách các electron– lỗ trống quang sinh cao, di chuyển hiệu quả và kéo dài thời gian “sống” của các hạt mang điện nên hoạt tính quang xúc tác rất cao. Vì vậy, CdS là một trong những chất xúc tác quang bán dẫn nổi bật trong số các sulfide kim loại. Vật liệu này

<https://doi.org/10.51316/jca.2022.067>

được sử dụng để thực hiện quá trình quang xúc tác phân tách nước thành H₂ [11, 12] và phân hủy các màu chất hữu cơ gây ô nhiễm môi trường nước [13, 14].

Nhằm tìm ra những phương pháp tổng hợp mới, dễ thực hiện, hiệu suất tổng hợp cao, cũng như phát hiện ra những vật liệu có hoạt tính xúc tác quang dưới vùng ánh sáng nhìn thấy, trong công bố này nhóm nghiên cứu tiến hành tổng hợp CdS kích thước nano và biến tính vật liệu này bởi polyme không kim loại g-C₃N₄ bằng phương pháp thủy nhiệt tạo thành vật liệu composite g-C₃N₄/CdS có hoạt tính quang xúc tác vượt trội.

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 Cadmium nitrate tetrahydrate (Cd(NO₃)₂.4H₂O, ≥ 98%), thioacetamide (C₂H₅NS ≥ 99%), urea (CO(NH₂)₂, ≥ 98%), methylene blue (C₁₆H₁₈ClN₃S.xH₂O, (≥ 97%), ammonium oxalate (DAO, ≥ 99%), 1,4-benzoquinone (BZQ, 99,5%), tert-butanol (TB, ≥ 99%), dimethyl sulfoxit (DMSO, ≥ 99,9%) and ethanol (≥ 95%). Tất cả các hóa chất đều thuộc loại có độ tinh khiết cao.

Phương pháp tổng hợp vật liệu

Tổng hợp CdS: Hỗn hợp m gam Cd(NO₃)₂.4H₂O và n gam TAA (thioacetamide C₂H₅NS) được hòa tan trong 100 mL nước cất và khuấy liên tục trong 30 phút đến khi tạo thành dung dịch suốt. TAA đóng vai trò là nguồn cung cấp S²⁻ để tạo CdS. Dung dịch sau đó được chuyển vào một bình cầu và đun hồi lưu ở 105 °C trong 30 phút, thu được kết tủa màu vàng. Thu kết tủa bằng cách ly tâm và rửa nhiều lần bằng nước cất và ethanol để loại bỏ các cation và anion có thể còn sót lại, sau đó làm khô trong tủ sấy ở 70 °C trong 24 giờ. Cuối cùng, sản phẩm được nung ở 350 °C để tăng độ tinh thể.

Tổng hợp g-C₃N₄/CdS: Vật liệu g-C₃N₄/CdS được điều chế thông qua phương pháp hấp thụ hóa học bằng cách siêu âm. Cho m gam g-C₃N₄ phân tán trong 50 ml nước cất, đem siêu âm trong 4 giờ. Sau đó cho thêm một lượng CdS nano đã được chọn theo một tỉ lệ nhất định và tiếp tục siêu âm trong 2 giờ nữa. Kết thúc quá trình siêu âm thu được dịch huyền phù và tiếp tục khuấy khuấy trong 12 giờ ở nhiệt độ phòng. Sản phẩm cuối cùng thu được bằng cách ly tâm và rửa nhiều lần bằng nước cất đến pH trung tính, sau đó sấy khô ở 80

°C trong 24 giờ. Tỷ lệ khối lượng của g-C₃N₄ và CdS được chọn là 1:1, 1:3 và 1:5 tương ứng được kí hiệu CNCS-1:1, CNCS-1:3, CNCS-1:5. Mẫu g-C₃N₄ (để so sánh) được tổng hợp ở điều kiện nung urea ở nhiệt độ 550 °C.

Phương pháp đặc trưng

Nhiều xạ tia X (XRD) của các mẫu được đo trên máy Bruker D8 Advance, ống phát tia X bằng Cu có bước sóng λ=1,540 Å, điện áp 30 kV, cường độ dòng ống phát 0,01 A. 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. Phổ UV-vis DRS được đo trên máy GBC Instrument-2885 bước sóng từ 200 đến 800 nm. 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

Nồng độ dung dịch MB phân hủy trong quá trình quang xúc tác ở các thời điểm khác nhau được xác định dựa trên đường chuẩn được thiết lập bởi mối quan hệ giữa độ hấp thụ theo nồng độ 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:

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

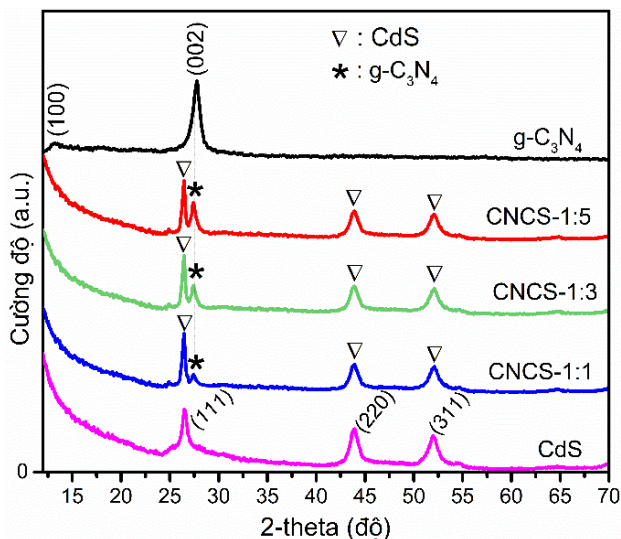
trong đó, C₀ là nồng độ đầu của MB tại thời điểm đạt cân bằng hấp phụ – giải hấp phụ và C_t là nồng độ MB tại từng thời điểm khảo sát.

Kết quả và thảo luận

Đặc trưng vật liệu

Kết quả nhiễu xạ XRD của các mẫu vật liệu composite g-C₃N₄/CdS và g-C₃N₄, CdS được trình bày ở Hình 1. Từ Hình 1 cho thấy, các nhiễu xạ riêng biệt tại 2θ = 26,64; 43,94 và 51,92° tương ứng với các mặt (111), (220) và (311) đặc trưng của CdS cấu trúc lập phương tâm diện [15, 16, 17]. Mẫu g-C₃N₄ tinh khiết có peak nhiễu xạ đặc trưng ở 2θ = 13,24 và 27,34° tương ứng với mặt (100) và (002) [18, 19, 20]. Nhiễu xạ này đặc trưng cho các đơn vị cấu trúc tri-s-triazine của g-C₃N₄. Nhiễu xạ XRD của các mẫu CNCS-1:1, CNCS-1:3 và CNCS-1:5 hiển thị đầy đủ các nhiễu xạ đặc trưng của g-C₃N₄ và CdS. Đặc điểm này thể hiện khá rõ nét đối với mẫu CNCS-1:3. Đây là kết quả khá trùng khớp với

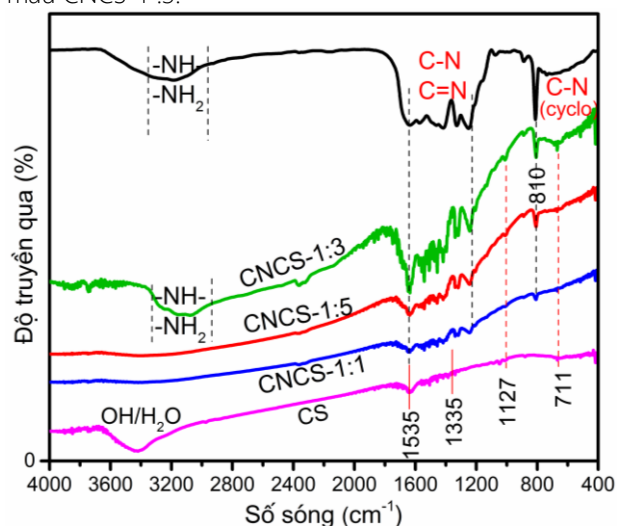
các công trình công bố trước đây về vật liệu g-C₃N₄/CdS [21, 22, 23]. Ngoài ra, trong mẫu này không quan sát thấy nhiễu xạ của các chất khác. Điều này xác nhận rằng, các mẫu CNCS-1:1, CNCS-1:3 và CNCS-1:5 gồm hai thành phần là g-C₃N₄ và CdS.



Hình 1: Giảm nhiễu xạ XRD của các mẫu composite và g-C₃N₄, CdS

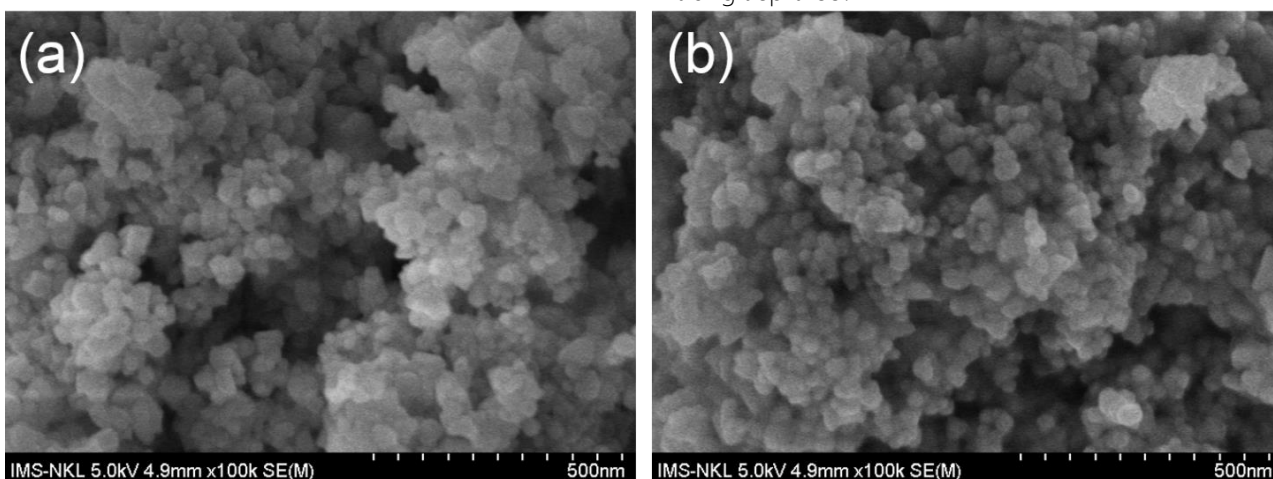
Tiếp tục đặc trưng phổ IR của các mẫu, kết quả được trình bày ở Hình 2. Phổ IR của các mẫu CNCS-1:1, CNCS-1:3 và CNCS-1:5 hiển thị đầy đủ dao động đặc trưng của g-C₃N₄ tinh khiết ứng với các số sóng 810 cm⁻¹, 1250–1632 cm⁻¹, 3000–3300 cm⁻¹. Đây là các dao động đặc trưng của liên kết C-N trong vòng thơm

triazine, liên kết C-N ngoài vòng thơm, liên kết C=N hệ liên hợp π trong vòng thơm và của các amine thứ cấp, sơ cấp tương ứng [19, 20, 24]. Ngoài ra, sự xuất hiện các dao động ở số sóng khoảng 1533 cm⁻¹, 1457 cm⁻¹, 1129 cm⁻¹ và 711 cm⁻¹ là do sự đóng góp của liên kết Cd-S [23, 25, 26]. Như vậy, các liên kết trong CNCS-1:1, CNCS-1:3 và CNCS-1:5 bao gồm liên kết của g-C₃N₄ và CdS. Đặc biệt, cũng như kết quả thu được từ nhiễu xạ XRD, những tín hiệu này cũng thể hiện rõ nét hơn ở mẫu CNCS-1:3.



Hình 2: Phổ IR của các mẫu vật liệu composite và g-C₃N₄, CdS.

Từ kết quả thu được ở đặc trưng XRD và IR, nhóm nghiên cứu chọn mẫu CNCS-1:3 để khảo sát các đặc trưng tiếp theo.



Hình 3: Ảnh SEM của vật liệu CdS (a) và mẫu vật liệu CNCS-1:3 (b)

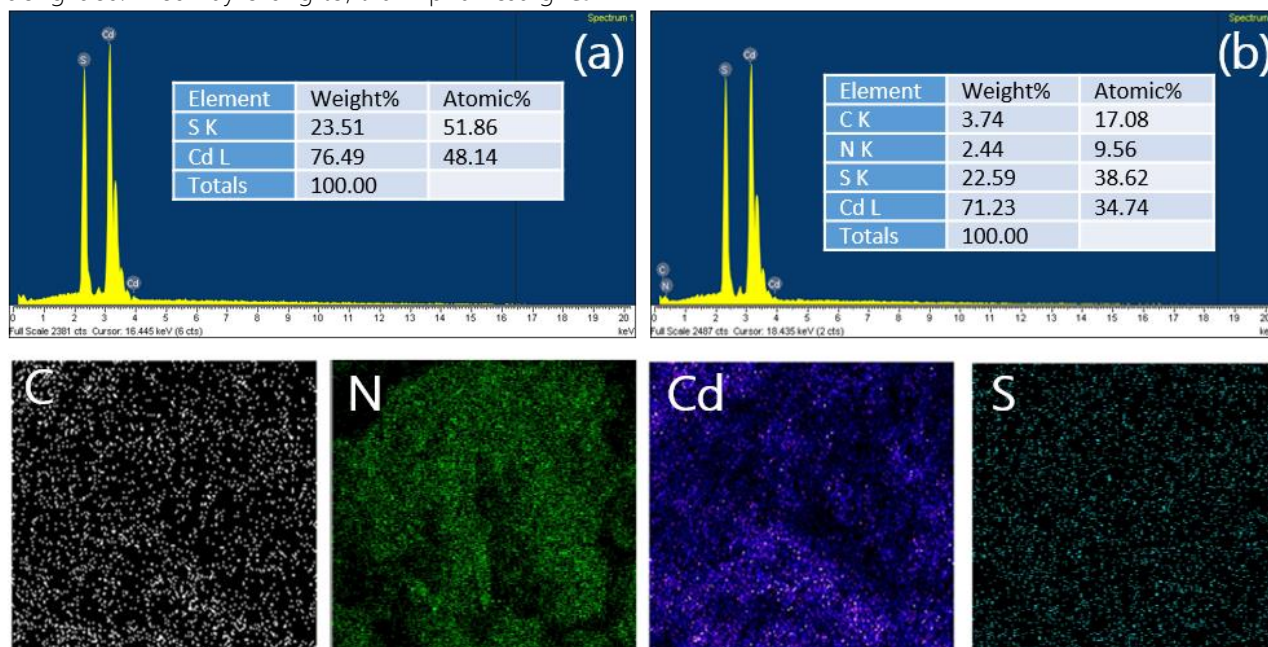
Ảnh SEM ở Hình 2b của mẫu CNCS-1:3 là các hạt hình cầu có kích thước tương đương CdS (Hình 2a) tính theo thang đo, vào khoảng 50 – 100 nm. Ngoài ra, từ ảnh này còn cho thấy các hạt hình cầu của mẫu CNCS-1:3 là không rõ nét. Điều này có thể là do một màng mỏng g-C₃N₄ bao bọc CdS trong thành phần của

composite g-C₃N₄/CdS. Để có những căn cứ xác thực hơn, mẫu tiếp tục được đặc trưng EDS và EDS-mapping. Kết quả được trình bày ở Hình 3. Về mặt định tính, mẫu CdS chỉ xuất hiện peak của hai nguyên tố Cd và S. Trong khi đó, mẫu CNCS-1:3 xuất hiện đồng thời peak của 4 nguyên tố là C và N (của g-

C₃N₄); Cd và S (của CdS) mà không thấy xuất hiện peak của bất kì nguyên tố nào khác.

Từ kết quả EDS-mapping cho thấy, sự phân bố các nguyên tố trong mẫu vật liệu CNCS-1:3 với mật độ khá đồng đều. Điều này chứng tỏ, thành phần của g-C₃N₄

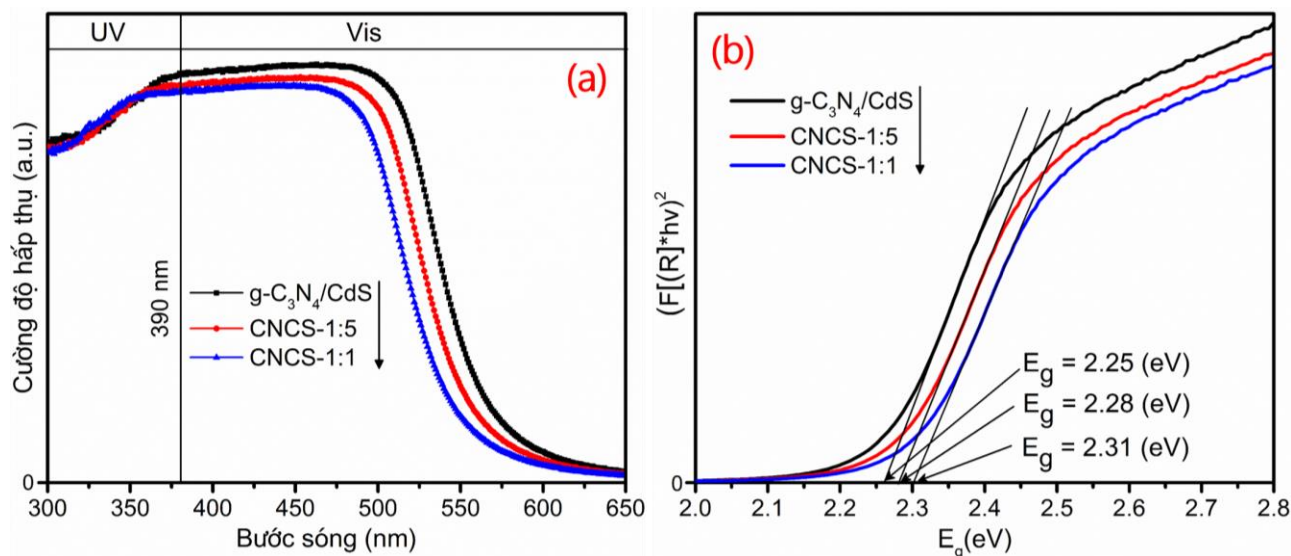
và CdS trong CNCS-1:3 là khá đồng nhất. Như vậy, có thể khẳng định, CNCS-1:3 chỉ gồm các nguyên tố C, N, Cd và S mà không có bất kì nguyên tố nào khác. Và để tiện theo dõi, mẫu vật liệu CNCS-1:3 được gọi tên composite g-C₃N₄/CdS.



Hình 3: Phổ EDS của CdS (a) và phổ EDS-mapping của g-C₃N₄/CdS (b)

Phổ UV-vis DRS của các vật liệu được trình bày ở Hình 4. Vùng hấp thụ ánh sáng của các mẫu composite g-C₃N₄/CdS (Hình 4a) bờ hấp thụ nằm hẳn về vùng ánh sáng khả kiến ($\lambda > 500$ nm). Trên cơ sở của phương pháp đặc trưng này, năng lượng vùng cấm (Hình 4b) của các mẫu CNCS-1:1, CNCS-1:5 và g-C₃N₄/CdS cũng

được xác định, bằng 2,25; 2,28 và 2,31 eV tương ứng. Với giá trị năng lượng vùng cấm bằng 2.25 eV và sự tác dụng hiệp trợ của các thành phần trong composite g-C₃N₄/CdS, khả năng hấp thụ ánh sáng khả kiến để tăng tốc quá trình phân tách cặp electron-lỗ trống quang sinh được dự đoán là dễ dàng.

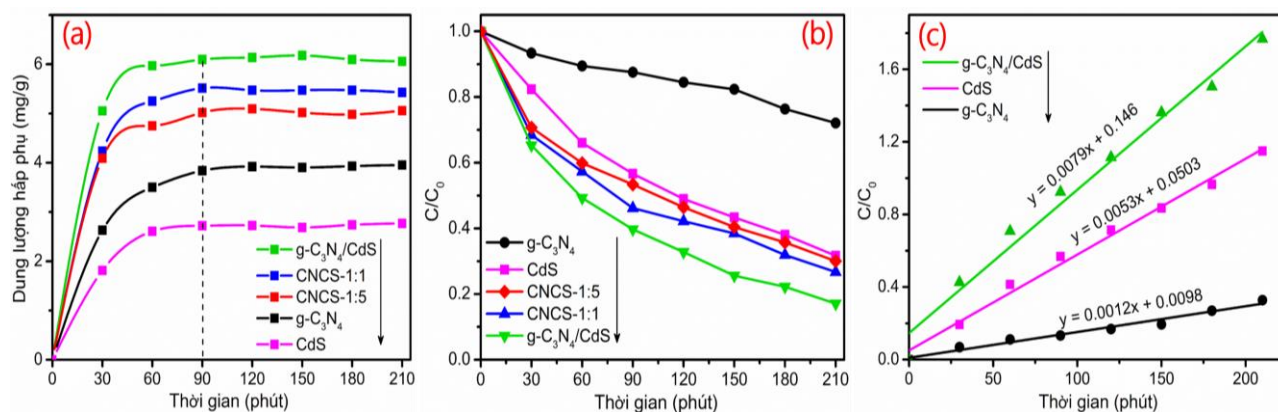


Hình 4: Phổ UV-vis DRS (a) và năng lượng vùng cấm (b) của các mẫu vật liệu CNCS-1:1, g-C₃N₄/CdS và CNCS-1:5

Đánh giá hoạt tính xúc tác quang

Dung lượng hấp phụ, hoạt tính xúc tác quang, động học của quá trình phân hủy MB (10 mg/L) bởi các vật liệu được trình bày ở Hình 5. Từ Hình 5a cho thấy, dung lượng hấp phụ MB của các vật liệu tăng trong 90 phút đầu, sau thời gian này giá trị này gần như không thay đổi. Do vậy, thời gian đạt cân bằng hấp phụ–giải hấp phụ của các vật liệu được chọn là 90 phút. Nồng độ dung dịch MB tại thời điểm này được kí hiệu là C_0 , đây cũng là nồng độ MB bắt đầu khảo sát hoạt tính xúc tác quang (thời điểm bắt đầu chiếu sáng). Ở Hình 5b, composite g-C₃N₄/CdS có hoạt tính xúc tác quang vượt trội so với g-C₃N₄ và CdS riêng lẻ. Cụ thể, sau 210 phút chiếu sáng, hiệu suất quang phân hủy MB bởi composite g-C₃N₄/CdS đạt 82,93%.

Trong khi đó hiệu suất quang phân hủy MB của g-C₃N₄ chỉ đạt 27,93% và CdS đạt 68,33% ở cùng điều kiện khảo sát. Sự tăng cường hoạt tính xúc tác quang của composite g-C₃N₄/CdS được giải thích là do tác dụng hiệp trợ của g-C₃N₄ và CdS xảy ra trong vật liệu



Hình 5: Dung lượng hấp phụ (a), hoạt tính xúc tác quang (b) và động học quá trình phân hủy (c) MB (10 mg/L) bởi các vật liệu CdS, g-C₃N₄ và CNCS-1:1, g-C₃N₄/CdS, CNCS-1:5 (chiếu xạ bởi đèn LED-30W, lượng xúc tác 0,05 gam)

Từ các giá trị k' cho biết, composite g-C₃N₄/CdS có tốc độ phân hủy MB khá lớn so với các vật liệu CdS và g-C₃N₄ riêng lẻ. Cụ thể, tốc độ phân hủy MB bởi composite gấp 1,6 lần so với CdS và gấp 8 lần so với g-C₃N₄. Kết quả này một lần nữa khẳng định, hoạt tính xúc tác quang của composite g-C₃N₄/CdS được tăng cường vượt trội so với các vật liệu g-C₃N₄ và CdS.

Kết luận

Composite g-C₃N₄/CdS đã được tổng hợp thành công. Sản phẩm được đặc trưng và xác nhận bởi các phương pháp phân tích hóa lý hiện đại như XRD, IR, EDS-mapping, SEM. Vùng hấp thụ ánh sáng khả kiến và năng lượng vùng cấm của vật liệu này cũng được xác định bằng phổ UV-vis trạng thái rắn. Sự phân hủy và động học

composite g-C₃N₄/CdS. Tác dụng hiệp trợ đã hạn chế được quá trình tái tổ hợp electron – lỗ trống quang sinh thường xảy ra trong vật liệu bán dẫn riêng lẻ.

Mô hình Langmuir – Hinshelwood cũng được áp dụng để đánh giá động học của quá trình quang xúc tác phân hủy MB (Hình 5c).

$$\ln \frac{C_0}{C_t} = kKt = k't$$

Với k' là hằng số tốc độ biểu thị cho mức độ phân hủy MB. Ở Hình 5c, tốc độ phân hủy MB của các vật liệu tuân theo phương trình động học bậc 1, với hệ số hồi quy khá cao $R^2 \geq 0.995$. Hằng số tốc độ k' tương ứng với quá trình quang xúc tác của từng vật liệu được trình bày ở Bảng 1.

Bảng 1: Hằng số tốc độ phản ứng của các vật liệu bán dẫn g-C₃N₄, CdS và g-C₃N₄/CdS

Vật liệu	g-C ₃ N ₄	CdS	g-C ₃ N ₄ /CdS
Hằng số tốc độ k' (h ⁻¹)	0.001	0.005	0.008

của trình phân hủy MB (10 mg/L) bởi vật liệu g-C₃N₄/CdS cũng được khảo sát, tất cả đều thể hiện sự vượt trội về hoạt tính xúc tác quang của composite g-C₃N₄/CdS so với các vật liệu bán dẫn riêng lẻ.

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. L. Huang, R. Gao, L. Xiong, P. Devaraji, W. Chen, X. Li and Li. Mao, RSC Adv., 11, (2021), 12153–12161. <https://doi.org/10.1039/D1RA00625H>

2. K. Adachi, K. Ohta, T. Mizuno, S. Energy, 53, (1994), 187–190.
[https://doi.org/10.1016/0038-092X\(94\)90480-4](https://doi.org/10.1016/0038-092X(94)90480-4)
3. S. Wua, H. Hu, Y. Lin, J. Zhang, Y. H. Hu, Chemical Engineering Journal, 382, (2020), 122842.
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.122842>
4. E.S. Elmolla, M. Chaudhuri, Desalination, 252, (2010), 1–3, 46–52.
<https://doi.org/10.1016/j.desal.2009.11.003>
5. K. Zhang and L. Guo, Catal. Sci. Technol., 3, (2013), 1672–1690.
<https://doi.org/10.1039/C3CY00018D>
6. Q. Wang, J. Li, Y. Bai, J. Lian, H. Huang, Z. Li, Z. Lei and W. Shangguan, Green Chem., 16, (2014), 2728–2735.
<https://doi.org/10.1039/C3GC42466A>
7. Y.B. Shao, L.H. Wang and J.H. Huang, RSC Adv., 6, (2016), 84493–84499.
<https://doi.org/10.1039/C6RA17046C>
8. Y.C. Zhang, J. Li, M. Zhang and D.D. Dionysiou, Environ. Sci. Technol. 45, (2011), 9324–9331.
<https://doi.org/10.1021/es202012b>
9. W. Wu, R. Lin, L. Shen, R. Liang, R. Yuan and L. Wu, Phys. Chem. Chem. Phys., 15, (2013), 19422–19426.
<https://doi.org/10.1039/C3CP53195C>
10. M. Imran, M. Ikram, A. Shahzadi, S. Dilpazir, H. Khan, I. Shahzadi, S. Amber Yousaf, S. Ali, J. Geng and Y, RSC Adv., 8, (2018), 18051–18058.
<https://doi.org/10.1039/C8RA01813H>
11. W. Chen, Y. Wang, M. Liu, L. Gao, L. Mao, Z. Fan, W. Shangguan, Applied Surface Science, 444, (2018), 485–490.
<https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.03.068>
12. Y. Chao, J. Zheng, J. Chen, Z. Wang, S. Jia, H. Zhang and Z. Zhu, Catal. Sci. Technol., 7, (2017), 2798–2804.
<https://doi.org/10.1039/C7CY00964J>
13. N. Soltani, E. Saion, W.M.M. Yunus, M. Navasery, G. Bahmanrokh, M. Erfani, M. RezaZare, E. Gharibshahi, Solar Energy, 97, (2013), 147–154.
<https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.08.023>
14. Q. Wang, J. Lian, Q. Ma, Y. Bai, J. Tong, J. Zhong, R. Wang, H. Huang and B. Su, New J. Chem., 39, (2015), 7112–7119.
<https://doi.org/10.1039/C5NJ00987A>
15. L. Ge, F. Zuo, J. Liu, Q. Ma, C. Wang, D. Sun, L. Bartels and P. Feng, Phys. Chem. C, 116, (2012), 13708–13714.
<https://doi.org/10.1021/jp3041692>
16. S. Bellamkonda and G. RangaRao, Catalysis Today, 321–322, (2019), 18–25.
<https://doi.org/10.1016/j.cattod.2018.03.025>
17. S.R. Dhag, H.A. Colorado, & T. Hahn, Nanoscale research letters, 2011, 6(1), 1–5.
<https://doi.org/10.1186/1556-276X-6-420>
18. S.C. Yan, Z.S. Li, & Z.G. Zou, Langmuir, 25, (2009), 10397–10401.
<https://doi.org/10.1021/la900923z>
19. Minsik Kim, Sohee Hwang and Jong-Sung Yu, J. Mater. Chem., 17, (2007), 1656–1659.
<https://doi.org/10.1039/B702213A>
20. X. Li, J. Zhang, L. Shen, Y. Ma, W. Lei, Q. Cui & G. Zou., Applied Physics A, 94, (2009), 387–392.
<https://doi.org/10.1007/s00339-008-4816-4>
21. Q. Jian, Z. Jin, H. Wang, Y. Zhangabc and G. Wang, Dalton Trans., 48, (2019), 4341–4352.
<https://doi.org/10.1039/C8DT05110K>
22. X. Li, Mi. Edelmánová, P. Huo & K. Kočí, Journal of Materials Science, 55, (2020), 3299–3313 .
<https://doi.org/10.1007/s10853-019-04208-x>
23. Y.F. Zhao, Y.P. Sun, X. Yin, R. Chen, G.C. Yin, M.L. Sun, F.C. Jia, and B. Liu, Journal of Nanoscience and Nanotechnology, 20, (2020), 1098–1108.
<https://doi.org/10.1166/jnn.2020.16984>
24. G. Xin and Y. Meng, Journal of Chemistry, 2013, (2013), 5 pages.
<https://doi.org/10.1155/2013/187912>
25. Z.L. Fang., H.F. Rong, L.Y. Zhou, & P. Qi, Journal of Materials Science, 50, (2015), 3057–3064.
<https://doi.org/10.1007/s10853-015-8865-8>
26. M. Lu, Z. Pei, S. Weng, W. Feng, Z. Fang, Z. Zheng, M. Huang and P. Liu, Physical Chemistry Chemical Physics, 16, (2014), 21280–21288.
<https://doi.org/10.1039/C4CP02846>