

GRAPHITIC CARBON NITRIDE V À TIỀM NĂNG ỨNG DỤNG QUANG XÚC TÁC TRONG XỬ LÝ CHẤT THẢI HỮU CƠ

• MAI THỊ THÙY LAM¹ - HUỖNH THỊ HỒNG HOA¹

¹Đại học Trà Vinh

TÓM TẮT:

Vật liệu graphitic carbon nitride đã thu hút sự quan tâm mạnh mẽ nhờ đặc tính hóa - lý ổn định, dễ tổng hợp và khả năng hấp thụ ánh sáng khả kiến. Tuy nhiên, graphitic carbon nitride vẫn có một số nhược điểm như diện tích bề mặt nhỏ và tốc độ tái kết hợp điện tử - lỗ trống cao. Chính vì vậy, nhiều nghiên cứu đã được thực hiện để cải thiện đặc tính của vật liệu này như tạo composite với oxide kim loại, MXene, hoặc pha tạp nguyên tố. Bài báo này tổng quan các phương pháp tổng hợp vật liệu trên cơ sở graphitic carbon nitride và ứng dụng của chúng trong xử lý chất thải hữu cơ, đặc biệt là thuốc nhuộm và kháng sinh trong nước thải.

Từ khóa: graphitic carbon nitride, $g-C_3N_4$, chất xúc tác quang, chất ô nhiễm hữu cơ.

1. Đặt vấn đề

Trong những năm gần đây, sự hiện diện của các chất ô nhiễm hữu cơ trong nước thải như thuốc nhuộm, per- và polyfluoroalkyl (PFAS), dược phẩm và sản phẩm chăm sóc cá nhân (PPCPs) đã trở thành mối quan ngại toàn cầu. Điểm chung của các chất này là tính bền vững cao, khó phân hủy sinh học và khả năng tích lũy lâu dài trong hệ sinh thái. Chính vì vậy, các chất này gây ra những tác động nghiêm trọng đối với môi trường và sức khỏe cộng đồng (Corpus et al., 2024). Hiện nay, nhiều công nghệ xử lý nước thải đã được áp dụng rộng rãi nhằm loại bỏ các chất ô nhiễm, bao gồm kết tủa, phân hủy sinh học, lọc, các quá trình oxy hóa tiên tiến (AOPs), hấp phụ và quang xúc tác (Lu et al., 2022). Trong số đó, quang xúc tác nổi bật nhờ chi phí thấp, tính thân thiện với môi trường và khả năng phân hủy hiệu quả các chất ô nhiễm. Chính vì vậy, quang xúc tác ngày càng được xem là một giải pháp triển vọng trong lĩnh vực làm sạch nước và xử lý các chất ô nhiễm khó loại bỏ bằng các phương pháp truyền thống.

Chất bán dẫn graphitic carbon nitride ($g-C_3N_4$)

được biết đến như một hướng nghiên cứu đầy tiềm năng trong lĩnh vực quang xúc tác nhờ vào các đặc tính hóa - lý độc đáo, dễ dàng tổng hợp và bền trong môi trường acid và base. Một trong những ưu điểm nổi bật của $g-C_3N_4$ là band gap khoảng 2.7 eV, cho phép vật liệu hấp thụ ánh sáng trong vùng khả kiến - chiếm phần lớn phổ bức xạ mặt trời (Wang et al., 2009). Khi được chiếu sáng, $g-C_3N_4$ có khả năng kích thích điện tử từ vùng hóa trị (VB) lên vùng dẫn (CB), đồng thời tạo ra lỗ trống điện tử (h^+) trong VB.

Quá trình này dẫn đến sự hình thành các cặp điện tử - lỗ trống, là tiền đề cho các phản ứng oxy hóa - khử trong môi trường. Mặc dù $g-C_3N_4$ sở hữu nhiều ưu điểm, vật liệu này vẫn tồn tại một số hạn chế như khả năng hấp thụ ánh sáng khả kiến hẹp, diện tích bề mặt nhỏ, và tốc độ phân tách cặp điện tử - lỗ trống thấp. Những yếu tố bất lợi này làm suy giảm hiệu suất quang xúc tác tổng thể (Tan et al., 2021). Nhiều phương pháp đã được nghiên cứu nhằm nâng cao khả năng hấp thụ ánh sáng và cải thiện quá trình vận chuyển điện tử của vật liệu $g-C_3N_4$, bao gồm: thay đổi hình thái, tạo khuyết tật, pha tạp nguyên tố, ghép

nổi với vật liệu khác. Bài báo này tổng quan về (1) các phương pháp tổng hợp vật liệu quang xúc tác trên cơ sở $g-C_3N_4$ và (2) ứng dụng của các vật liệu này trong lĩnh vực xử lý chất thải hữu cơ.

2. Phương pháp tổng hợp vật liệu quang xúc tác trên cơ sở $g-C_3N_4$

$g-C_3N_4$ được xem là một vật liệu tiềm năng thay thế cho các chất xúc tác quang trên cơ sở oxide kim loại. Để nâng cao hiệu quả ứng dụng, các nghiên cứu đã được thực hiện nhằm tối ưu hóa đặc tính quang - điện của $g-C_3N_4$, đặc biệt là tăng khả năng hấp thụ ánh sáng trong vùng khả kiến và cải thiện hiệu quả phân tách điện tích. Các hướng nghiên cứu nổi bật là tạo vật liệu composite hệ 2 thành phần hoặc 3 thành phần bằng cách kết hợp $g-C_3N_4$ với các hợp chất bán dẫn khác như $BiVO_4$, $InVO_4$, $AgVO_3$, V_2O_5 , TiO_2 và ZnO và đặc biệt gần đây các nghiên cứu về sự kết hợp của $g-C_3N_4$ và vật liệu MXene cho thấy sự cải thiện đáng kể về hiệu quả quang xúc tác của vật liệu. Một phương pháp khác cũng được nghiên cứu là pha tạp vào $g-C_3N_4$ các nguyên tố phi kim và kim loại đóng vai trò như đồng xúc tác.

Vật liệu composite trên cơ sở $g-C_3N_4$: Nhóm nghiên cứu của Thanh Tùng (2023) đã tổng hợp thành công vật liệu $g-C_3N_4/CuWO_4$ bằng phương pháp nhiệt pha rắn có hỗ trợ siêu âm tại nhiệt độ $530^\circ C$. Kết quả cho thấy, giá trị năng lượng vùng cấm của các vật liệu $g-C_3N_4/CuWO_4$ (2.52 eV) tổng hợp được giảm so với vật liệu $g-C_3N_4$ (2.71 eV) và $CuWO_4$ (2.13 eV). Việc thay đổi giá trị năng lượng vùng cấm, cho phép dự đoán vật liệu composite tổng hợp được có hoạt tính quang xúc tác tốt trong vùng ánh sáng nhìn thấy nhờ sự xúc tác hiệp trợ của cả hai hợp phần $g-C_3N_4$ và $CuWO_4$.

Xuân Huân và cộng sự (2022) đã có báo cáo tổng hợp vật liệu composite $MnFeO_x/g-C_3N_4$. Vật liệu composite được tổng hợp từ tiền chất $MnCl_2 \cdot 4H_2O$, $FeCl_2 \cdot 4H_2O$ và $g-C_3N_4$ bằng phương pháp sol-gel. Từ kết quả ảnh TEM của mẫu sản phẩm cho thấy, $g-C_3N_4$ có dạng hình tấm lớn, được trang trí bằng các hạt nano dạng hạt Fe_2O_3 và Mn_2O_3 . Đường kính các hạt tinh thể oxide khoảng 5 - 20 nm và các hạt nhỏ được gắn vào bề mặt các tấm $g-C_3N_4$. Wang et al. (2020) đã thực hiện tổng hợp composite của $\alpha-Fe_2O_3$ và vật liệu khuyết tật của $g-C_3N_4$ ($d-C_3N_4$).

Trong nghiên cứu này, vật liệu $\alpha-Fe_2O_3/d-C_3N_4$ được tổng hợp bằng phương pháp phân tán siêu âm kết hợp nung. Kết quả phân tích tính chất vật liệu cho thấy vật liệu $d-C_3N_4$ có sự mở rộng vùng hấp thụ ánh sáng và quá trình chuyển tải điện tích qua

các mức năng lượng phụ (sub-gaps) hiệu quả hơn. Jin et al. (2020) đã thực hiện nghiên cứu composite $g-C_3N_4$ và Co_3O_4 ứng dụng trong quang xúc tác xử lý chất thải. Nghiên cứu này, nhằm nâng cao hiệu suất quang xúc tác dưới ánh sáng khả kiến trong quá trình phân hủy kháng sinh thông qua peroxymonosulfate (PMS). Một hệ dị thể Z-scheme hai chiều (2D) Co_3O_4 nanomeshes/ $g-C_3N_4$ nanosheets đã được tổng hợp thành công bằng phương pháp nung hỗn hợp giữa MOF-Co nanosheets siêu mỏng và $g-C_3N_4$. Cấu trúc đặc biệt dạng nanomeshes/nanosheets này sở hữu diện tích bề mặt riêng lớn ($153.92 \text{ m}^2/\text{g}$), cung cấp nhiều vị trí hoạt động dễ tiếp cận và tạo ra diện tích tiếp xúc mật thiết giữa Co_3O_4 và $g-C_3N_4$. Nhờ đó, sự phân tách và vận chuyển các hạt tải điện được thúc đẩy mạnh mẽ, góp phần cải thiện đáng kể hiệu suất quang xúc tác.

Vật liệu MXene/ $g-C_3N_4$: Zhanga et al. (2024) đã thực hiện tổng hợp vật liệu $Ti_3C_2/g-C_3N_4$ bằng phương pháp làm khô dung môi. Kết quả thu được giá trị band gap của vật liệu $g-C_3N_4$ và $Ti_3C_2/g-C_3N_4$ tương ứng là 2.81 eV và 3.1 eV. Hình ảnh SEM của mẫu sản phẩm $Ti_3C_2/g-C_3N_4$ cho thấy cấu trúc của màng composite. Sự kết hợp giữa Ti_3C_2 và $g-C_3N_4$ đã làm biến đổi cấu trúc lớp có trật tự của Ti_3C_2 thành dạng bất quy tắc, đồng thời số lượng vị trí khuyết tật trên bề mặt $g-C_3N_4$ cũng tăng lên. Ti_3C_2 đóng vai trò hạn chế hiện tượng kết tụ bằng cách bao bọc $g-C_3N_4$ và liên kết chặt chẽ, từ đó cải thiện khả năng phân tán vật liệu, làm tăng độ nhám trung bình của bề mặt và tạo ra diện tích bề mặt lớn hơn. Ngoài ra, sự thay đổi này còn tăng khoảng cách giữa các lớp vật liệu và hình thành nhiều kênh dẫn, giúp khuếch tán ánh sáng hiệu quả hơn. Bằng phương pháp trộn đơn giản các tiền chất với nhau.

Vật liệu $Ti_3C_2/g-C_3N_4$ cũng đã được Nasri et al. (2022) tổng hợp thành công bằng phương pháp thẩm ướt. Nhóm nghiên cứu đã khảo sát các tỷ lệ khác nhau của $Ti_3C_2/g-C_3N_4$ là 4, 8 và 12% ảnh hưởng đến hoạt tính xúc tác của vật liệu sản phẩm thu được. Kết quả thu được band gap của vật liệu $g-C_3N_4$, 1% $Ti_3C_2/g-C_3N_4$, 4% $Ti_3C_2/g-C_3N_4$, 8% $Ti_3C_2/g-C_3N_4$ và 12% $Ti_3C_2/g-C_3N_4$ tương ứng là 2.61, 2.53, 2.09, 2.20 và 2.31 eV.

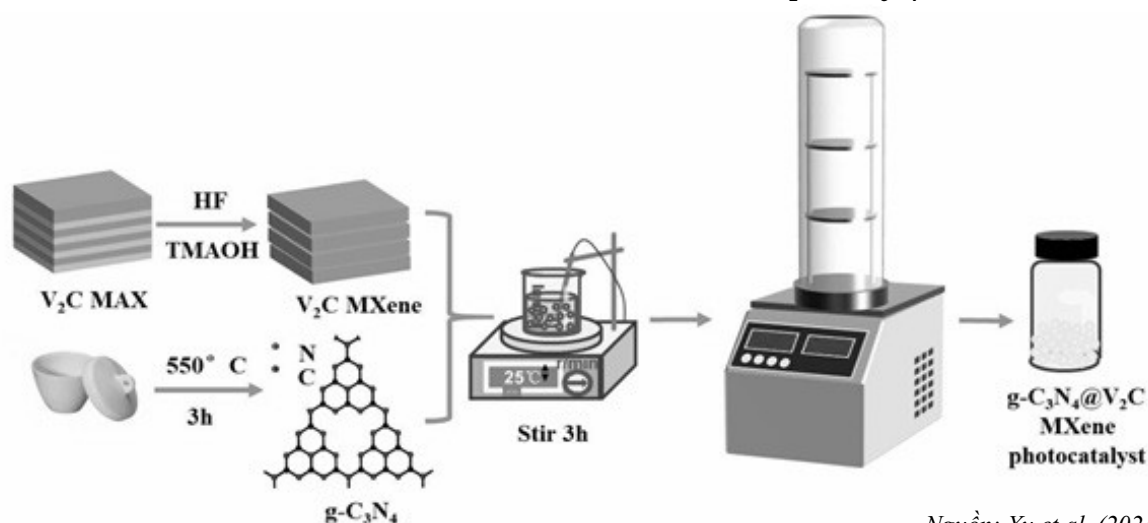
Xu et al. (2024) đã tổng hợp thành công vật liệu $V_2C/g-C_3N_4$ bằng kỹ thuật trộn tự lắp ghép đơn giản (Hình 1). Kết quả thu được giá trị band gap của vật liệu $g-C_3N_4$ và $V_2C/g-C_3N_4$ tương ứng là 2.84 eV và 2.82 eV. Ngoài ra, từ kết quả phân tích tổng trở điện hóa của vật liệu cho thấy, mẫu $V_2C/g-C_3N_4$ có tổng

trở điện hóa thấp hơn $g-C_3N_4$, đồng nghĩa với tốc độ truyền tải điện tích của vật liệu composite cao hơn vật liệu $g-C_3N_4$. Thêm vào đó, nghiên cứu cũng đã thực hiện phân tích hiệu quả của vật liệu trong việc tách và vận chuyển các cặp điện tử - lỗ trống được sinh ra do hấp thu ánh sáng, tốc độ tái tổ hợp của các cặp điện tử-lỗ trống được xác định bằng việc đo và phân tích dòng điện tạm thời phát sinh khi vật liệu được chiếu sáng. Vật liệu composite cho thấy tần

suất tái tổ hợp điện tử - lỗ trống giảm đáng kể so với $g-C_3N_4$.

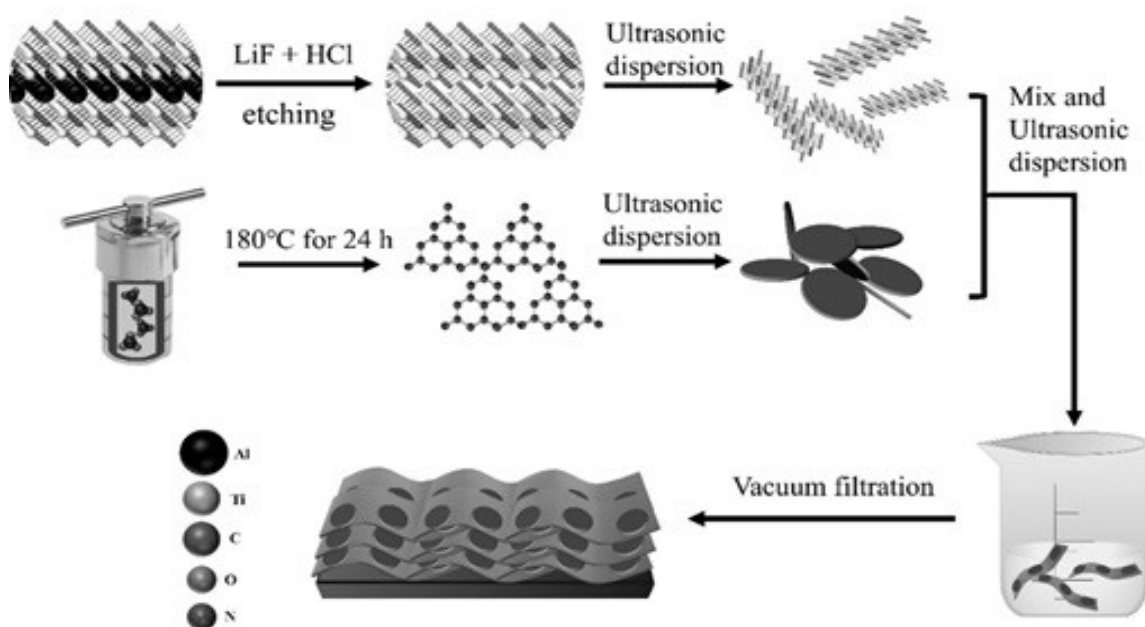
Zeng et al. (2022) đã báo cáo việc tổng hợp vật liệu màng $g-C_3N_4@MXene/PES$ (MXene là $Ti_3C_2T_x$). Trong nghiên cứu này, các tấm nano $g-C_3N_4$ đã được sử dụng để biến tính màng MXene 2 chiều, nhằm tạo ra vật liệu composite quang xúc tác mới $g-C_3N_4@MXene/PES$ (CN-MX) thông qua phương pháp lọc chân không (Hình 2).

Hình 1: Quá trình tổng hợp xúc tác quang $V_2C/g-C_3N_4$



Nguồn: Xu et al. (2024)

Hình 2: Quá trình điều chế màng composite CN-MX



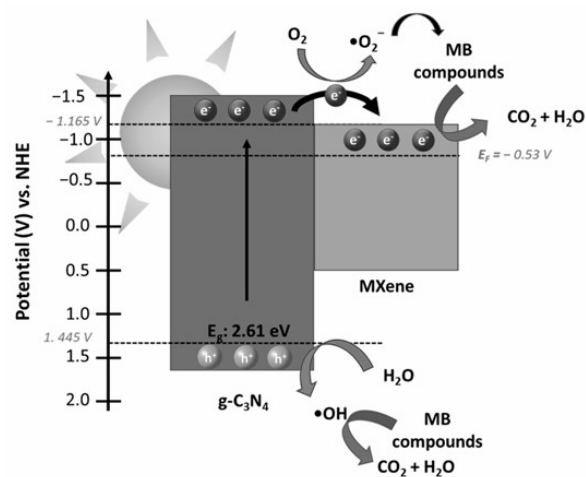
Nguồn: Zeng et al. (2022)

3. Ứng dụng của các vật liệu trên cơ sở g-C₃N₄ trong xử lý chất thải hữu cơ

3.1. Xử lý chất màu hữu cơ

Xuân Huân và cộng sự (2022) đã thực hiện khảo sát khả năng thuốc nhuộm hoạt tính RR-195 trong môi trường nước của vật liệu MnFeO_x/g-C₃N₄. Mẫu vật liệu MnFeO_x/g-C₃N₄ tổng hợp bằng phương pháp sol-gel ở các tỷ lệ mol Mn:Fe 2:1 có cấu trúc pha ổn định nhất, cho hiệu quả xử lý thuốc nhuộm đạt hiệu suất 91% sau thời gian 80 phút ở điều kiện nồng độ RR-195 ban đầu là 100 mg/L, ở 25°C. Nasri et al. (2022) đã khảo sát khả năng phân hủy methyl blue (MB) của các vật liệu 1% Ti₃C₂/g-C₃N₄, 4% Ti₃C₂/g-C₃N₄, 8% Ti₃C₂/g-C₃N₄ và 12% Ti₃C₂/g-C₃N₄. Kết quả vật liệu 1% Ti₃C₂/g-C₃N₄ đạt được khả năng phân hủy methyl blue cao nhất (khoảng 60%) trong 180 phút. Cơ chế cho quá trình phân hủy methyl blue cũng được nhóm tác giả đề nghị trong báo cáo này (Hình 3).

Hình 3: Cơ chế quang xúc tác phân hủy MB của vật liệu Ti₃C₂/g-C₃N₄



Nguồn: Nasri et al. (2022)

Zeng et al. (2022) đã thực hiện nghiên cứu khả năng xử lý Congo red (CR) và Trypan blue (TB) của màng g-C₃N₄@MXene/PES (MXene là Ti₃C₂T_x). Kết quả cho thấy, khả năng xử lý tuyệt vời của vật liệu này với tỷ lệ loại bỏ chất màu hữu cơ tương ứng là 98% cho CR và 96% cho TB. Xu et al. (2024) đã khảo sát tính chất quang xúc tác của vật liệu V₂C/g-C₃N₄ thông qua khả năng phân hủy methyl orange. Vật liệu composite V₂C/g-C₃N₄ đạt hiệu suất phân hủy methyl orange lên tới 94.5% sau 120 phút chiếu sáng bằng ánh sáng khả kiến, gấp 1.56 lần hiệu suất

phân hủy methyl orange của vật liệu g-C₃N₄.

3.2. Xử lý thuốc kháng sinh

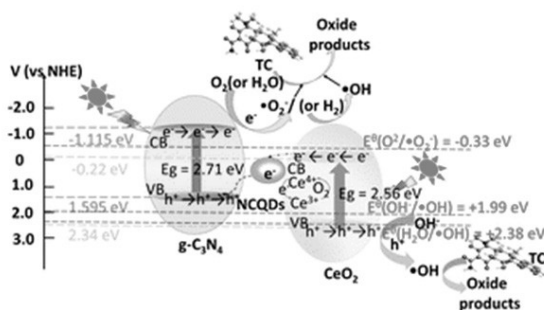
Vấn đề ô nhiễm nguồn nước do dư lượng thuốc kháng sinh, đặc biệt là tetracycline hydrochloride (TC), đã trở thành mối quan tâm lớn trong lĩnh vực môi trường và sức khỏe cộng đồng. TC là một loại kháng sinh phổ rộng, thường được sử dụng trong y tế và chăn nuôi, nhưng khả năng phân hủy sinh học thấp khiến nó tồn tại lâu dài trong môi trường nước, gây nguy cơ hình thành vi khuẩn kháng thuốc và ảnh hưởng đến hệ sinh thái thủy sinh. Zeng et al. (2022) đã thực hiện khảo sát khả năng phân hủy TC bằng màng g-C₃N₄@MXene/PES, cho thấy, hiệu suất phân hủy TC của vật liệu này lên đến 86%.

Kang et al. (2021) đã thực hiện khảo sát khả năng phân hủy của TC bằng vật liệu composite trên cơ sở g-C₃N₄. Trong nghiên cứu này, để nâng cao hiệu suất phân hủy quang xúc tác tetracycline (TC) dưới ánh sáng khả kiến với sự hỗ trợ của peroxymonosulfate (PMS) trên BiVO₄, nhóm tác giả đã tiến hành đồng biến tính BiVO₄ bằng cách kết hợp g-C₃N₄ và doping Na⁺, tạo thành hệ dị thể g-C₃N₄/Na-BiVO₄ (CN/Na-BiVO₄). Vật liệu CN/Na-BiVO₄ thu được cho thấy hiệu suất phân hủy TC được cải thiện rõ rệt, đạt tới 98,20% chỉ sau 40 phút, cao gấp 3.13 lần so với BiVO₄.

Qi et al. (2020) đã thực hiện tổng hợp các nanocomposite dị thể 3 thành phần CeO₂/nitrogen-doped carbon quantum dots (NCQDs)/g-C₃N₄ bằng phương pháp nung nhiệt ở nhiệt độ cao kết hợp thủy nhiệt và khảo sát khả năng quang xúc tác của vật liệu trong việc phân hủy TC và tạo khí H₂. So với CeO₂ và g-C₃N₄, hệ Z-scheme CeO₂/NCQDs/g-C₃N₄ (CSN_x, với x biểu thị hàm lượng CeO₂ theo % khối lượng) cho thấy khả năng phân hủy TC và sinh H₂ vượt trội nhờ hiệu quả phân tách điện tích cao và độ ổn định quang xúc tác được cải thiện. Đặc biệt, mẫu CSN₅ thể hiện hoạt tính quang xúc tác tốt nhất trong phân hủy TC (dung dịch 100 mL, nồng độ 20 mg.L⁻¹), đạt 100% phân hủy sau 60 phút dưới chiếu sáng khả kiến (λ ≥ 420 nm) (Hình 4). Kết quả này khẳng định vai trò quan trọng của cấu trúc dị thể Z-scheme và sự hiện diện của NCQDs trong việc thúc đẩy quá trình tách - chuyển điện tử - lỗ trống, đồng thời nâng cao hiệu suất và độ bền của hệ xúc tác.

Ngoài các nghiên cứu về xử lý chất ô nhiễm TC, một số kháng sinh khác cũng được quan tâm. Zhanga et al. (2024) đã tiến hành nghiên cứu khả năng phân hủy quang xúc tác ciprofloxacin (CIP)

Hình 4: Cơ chế phân hủy TC của vật liệu Z-scheme $\text{CeO}_2/\text{NCQDs}/\text{g-C}_3\text{N}_4$



Nguồn: Qi et al. (2020)

của vật liệu $\text{Ti}_3\text{C}_2/\text{g-C}_3\text{N}_4$. Kết quả cho thấy, mẫu $\text{Ti}_3\text{C}_2/\text{g-C}_3\text{N}_4$ đạt hiệu suất loại bỏ quang xúc tác CIP lên tới 97.8%, cao hơn 1.23 lần so với $\text{g-C}_3\text{N}_4$. Đặc biệt, hệ 6%-MX/CN thể hiện hoạt tính quang xúc tác tối ưu ở điều kiện pH = 7 với nồng độ ban đầu của CIP là 10 mg/L.

Theo Zhang et al. (2021), quá trình quang xúc tác dưới ánh sáng khả kiến kết hợp với peroxymonosulfate (PMS) đã cho hiệu quả phân hủy norfloxacin (NOR) vượt trội so với hệ quang xúc tác thông thường. Cụ thể, hiệu suất phân hủy NOR đạt 96.4% và loại bỏ

54% TOC chỉ trong vòng 10 phút. Nhóm đã thực hiện nghiên cứu xúc tác quang $\text{Co}/\text{g-C}_3\text{N}_4$ được tổng hợp bằng phương pháp nung đơn giản và sử dụng vật liệu để đánh giá hiệu quả của 2 hệ $\text{Co}/\text{g-C}_3\text{N}_4/\text{H}_2\text{O}_2$ và $\text{Co}/\text{g-C}_3\text{N}_4/\text{PMS}$ trong quá trình phân hủy quang xúc tác NOR dưới chiếu sáng khả kiến.

4. Kết luận

Qua các nghiên cứu đã được công bố, có thể thấy $\text{g-C}_3\text{N}_4$ là một vật liệu bán dẫn đầy tiềm năng trong lĩnh vực quang xúc tác xử lý chất thải hữu cơ và kháng sinh trong nước. Các nghiên cứu cho thấy việc kết hợp $\text{g-C}_3\text{N}_4$ với các vật liệu khác như oxide kim loại, MXene, hoặc pha tạp nguyên tố đã giúp mở rộng vùng hấp thụ ánh sáng, tăng diện tích bề mặt, thúc đẩy quá trình phân tách và vận chuyển điện tích, từ đó nâng cao hiệu suất quang xúc tác. Đặc biệt, trong xử lý kháng sinh như tetracycline hydrochloride (TC), ciprofloxacin (CIP) và norfloxacin (NOR), các hệ composite trên cơ sở $\text{g-C}_3\text{N}_4$ đã đạt hiệu suất phân hủy vượt trội, khẳng định giá trị ứng dụng thực tiễn trong xử lý nước thải. Vật liệu trên cơ sở $\text{g-C}_3\text{N}_4$ hứa hẹn sẽ trở thành giải pháp bền vững, hiệu quả và thân thiện môi trường cho công nghệ xử lý ô nhiễm chất thải hữu cơ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

- Mai Hùng Thanh Tùng, Nguyễn Thị Phương Lệ Chi, Nguyễn Trí Quốc và Nguyễn Thị Diệu Cẩm (2023). Tổng hợp vật liệu $\text{g-C}_3\text{N}_4/\text{CuWO}_4$ có hoạt tính quang xúc tác cao trong vùng ánh sáng nhìn thấy. Tạp chí Khoa học Công nghệ và Thực phẩm, 23(1).
- Nguyễn Xuân Huân, Đoàn Tất Đạt, Phạm Thị Hồng Nhung và Vũ Thị Hòa (2022). Nghiên cứu tổng hợp vật liệu composit $\text{MnFeOx}/\text{g-C}_3\text{N}_4$ ứng dụng làm xúc tác quang để phân hủy thuốc nhuộm trong môi trường nước. Tạp chí Khoa học và công nghệ, 12.
- C. Jin, M. Wang, Z. Li, J. Kang, Y. Zhao, J. Han & Z. Wu (2020). Two dimensional $\text{Co}_3\text{O}_4/\text{g-C}_3\text{N}_4$ Z-scheme heterojunction: Mechanism insight into enhanced peroxymonosulfate-mediated visible light photocatalytic performance. Chemical Engineering Journal, 398.
- G. Zeng, Z. Heb, T. Wana, T. Wang, Z. Yang, Y. Liu, Q. Lin, Y. Wang, A. Sengupta & S. Pu (2022). A self-cleaning photocatalytic composite membrane based on $\text{g-C}_3\text{N}_4/\text{MXene}$ nanosheets for the removal of dyes and antibiotics from wastewater. Separation and Purification Technology, 292.
- H. Qi, C. Shi, X. Jiang, M. Teng, Z. Sun, Z. Huang, D. Pan, S. Liu & Z. Guo (2020). Constructing $\text{CeO}_2/\text{nitrogen-doped carbon quantum dot}/\text{g-C}_3\text{N}_4$ heterojunction photocatalysts for highly efficient visible light photocatalysis. Nanoscale, 12.
- H. Zhanga, Y. Yuana, J. Xua, Y. Guoa, X. Tanb, H. Wanga, X. Hua & C. Tang (2024). Highly conductive Ti_3C_2 MXene reinforced $\text{g-C}_3\text{N}_4$ heterojunction photocatalytic for the degradation of ciprofloxacin: Mechanism Insight. Separation and Purification Technology, 330.
- J. Kang, Y. Tang, M. Wang, C. Jin, J. Liu, S. Li, Z. Li & J. Zhu (2021). The enhanced peroxymonosulfate-assisted photocatalytic degradation of tetracycline under visible light by $\text{g-C}_3\text{N}_4/\text{Na-BiVO}_4$ heterojunction catalyst and its mechanism. Journal of Environmental Chemical Engineering, 9.

- J. Tan, N. Tian, Z. Li, J. Li, X. Yao, M. Vakili, Y. Lu & T. Zhang (2021). Intrinsic defect engineering in graphitic carbon nitride for photocatalytic environmental purification: a review to fill existing knowledge gaps. *Chemical Engineering Journal*, 421.
- M. S. I. Nasri, M. F. R. Samsudin, A. A. Tahir & S. Sufian (2022). Effect of MXene loaded on g-C₃N₄ photocatalyst for the photocatalytic degradation of methylene blue. *Energies*, 15.
- R. M. B. Corpus, M. S. Bayani, J. L. Aguilar, J. C. B. Aguilar and H. B. Aguilar (2024). Emerging pollutants in waste water: Challenges and advancements in treatment technology. *Earth and Environmental Science*, 1372.
- R. Xu, G. Wei, Z. Xie, S. Diao, J. Wen, T. Tang, L. Jiang, M. Li & G. Hu (2024). V₂C MXene-modified g-C₃N₄ for enhanced visible-light photocatalytic activity. *Journal of Alloys and Compounds*, 970.
- S. Wang, Z. Teng, Y. Xu, M. Yuan, Y. Zhong, S. Liu, C. Wang, G. Wang, T. Ohno (2020). Defect-based interfaces as the essential factor in engineering carbon-nitride-based visible light-driven Z-scheme photocatalyst. *Applied Catalysis B: Environmental*, 260.
- W. Zhang, Z. Bian, X. Xin, L. Wang, X. Geng & H. Wang (2021). Comparison of visible light driven H₂O₂ and peroxymonosulfate degradation of norfloxacin using Co/g-C₃N₄. *Chemosphere*, 262.
- X. Wang, K. Maeda, A. Thomas, K. Takanabe, G. Xin, J. M. Carlsson, K. Domen & M. Antonietti (2009). A metal-free polymeric photocatalyst for hydrogen production from water under visible light. *Nature materials*, 8.
- Y. Lu, Y. Cai, S. Zhang, L. Zhuang, B. Hu, S. Wang, J. Chen & X. Wang (2022). Application of biochar-based photocatalysts for adsorption-(photo) degradation/reduction of environmental contaminants: mechanism, challenges and perspective. *Biochar*, 4.

Ngày nhận bài: 9/02/2026

Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 24/02/2026

Ngày chấp nhận đăng bài: 11/3/2026

GRAPHITIC CARBON NITRIDE AND ITS POTENTIAL PHOTOCATALYTIC APPLICATIONS IN ORGANIC WASTE TREATMENT

● MAI THI THUY LAM¹
● HUYNH THI HONG HOA¹

¹Tra Vinh University

ABSTRACT

Graphitic carbon nitride (g-C₃N₄) has garnered significant attention owing to its robust physicochemical stability, facile synthesis, and effective visible-light absorption. Nevertheless, its practical application is hindered by inherent limitations, including low specific surface area and rapid electron-hole recombination. To address these challenges, extensive research has focused on modifying g-C₃N₄ through strategies such as compositing with metal oxides, integration with MXene materials, and elemental doping. This study provides a comprehensive review of the synthesis approaches for g-C₃N₄-based materials and critically examines their performance in the treatment of organic pollutants, with particular emphasis on the degradation of dyes and antibiotics in wastewater.

Keywords: graphitic carbon nitride, g-C₃N₄, photocatalyst, organic pollutant.