

XÁC ĐỊNH ETHAMBUTOL BẰNG PHƯƠNG PHÁP ĐIỆN HÓA SỬ DỤNG ĐIỆN CỰC CARBON THỦY TINH BIẾN TÍNH V/UIO-66

Phạm Thị Huyền Thoa^{1,2}, Nguyễn Quang Mẫn³, Đoàn Kim Ngân Hà⁴, Lê Lâm Sơn^{1*}

¹ Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế, Huế, Việt Nam

² Khoa Khoa học Tự nhiên & Công nghệ, Trường Đại học Tây Nguyên, Đắk Lắk, Việt Nam

³ Trường Đại học Y Dược, Đại học Huế, Huế, Việt Nam

⁴ Trung tâm Kiểm nghiệm Thuốc, Mỹ phẩm và Thực phẩm, Thành phố Huế, Huế, Việt Nam

* Tác giả liên hệ Lê Lâm Sơn <lelamson@hueuni.edu.vn>

(Ngày nhận bài: 19-04-2026; Hoàn thành phản biện: 05-06-2026; Ngày chấp nhận đăng: 25-06-2026)

Tóm tắt. Một cảm biến điện hóa nhạy dựa trên điện cực carbon thủy tinh biến tính bằng khung hữu cơ kim loại UiO-66 pha tạp vanadium (V/UiO-66/GCE) đã được chế tạo để xác định ethambutol trong các chế phẩm dược phẩm. Vật liệu V/UiO-66 được tổng hợp bằng phương pháp thủy nhiệt và đặc trưng bằng nhiễu xạ tia X, hiển vi điện tử quét và phổ tán xạ năng lượng tia X với bản đồ phân bố nguyên tố. Ở điều kiện tối ưu, điện cực V/UiO-66/GCE cho các đỉnh oxy hóa phân giải rõ ràng, cho phép định lượng ethambutol với giới hạn phát hiện là 0,81 $\mu\text{mol.L}^{-1}$. Phương pháp đề xuất đã được áp dụng thành công để phân tích các mẫu viên thuốc thương mại, cho kết quả thu hồi chấp nhận được là 95,50%. Những kết quả này cho thấy điện cực V/UiO-66/GCE là một công cụ điện hóa đơn giản, đáng tin cậy và hiệu quả để xác định ethambutol.

Từ khóa: ethambutol, phân tích điện hóa, V/UiO-66

A V/UiO-66 metal-organic framework-modified glassy carbon electrode for electrochemical determination of ethambutol

Pham Thi Huyen Thoa^{1,2}, Nguyen Quang Man³, Doan Kim Ngan Ha⁴, Le Lam Son^{1*}

¹ University of Sciences, Hue University, Hue, Vietnam

² Department of Natural Sciences & Technology, Tay Nguyen University, Dak Lak, Vietnam

³ University of Medicine and Pharmacy, Hue University, Hue, Vietnam

⁴ Hue Center for Drug, Cosmetic and Food Quality Control, Hue City, Hue, Vietnam

* Correspondence to Le Lam Son <lelamson@hueuni.edu.vn>

(Received: 19 April 2026; Revised: 05 June 2026; Accepted: 25 June 2026)

Abstract. A sensitive electrochemical sensor based on a vanadium-incorporated UiO-66 metal-organic framework-modified glassy carbon electrode (V/UiO-66/GCE) was developed for determining ethambutol in pharmaceutical formulations. The V/UiO-66 material was synthesised via a hydrothermal method and comprehensively characterised with X-ray diffraction, scanning electron microscopy, and energy-dispersive X-ray spectroscopy with elemental mapping. Under optimal conditions, the V/UiO-66/GCE exhibited a well-defined oxidation peak, enabling the quantification of ethambutol with a limit of detection of 0.81 $\mu\text{mol.L}^{-1}$. The proposed method was successfully applied to the analysis of commercial tablets, yielding an acceptable recovery of 95.50%. These results indicate

that the V/UiO-66/GCE provides a simple, reliable, and efficient electrochemical approach for the determination of ethambutol.

Keywords: ethambutol, electrochemical analysis, V/UiO-66

1 Mở đầu

Lao vẫn là một căn bệnh nguy hiểm đối với sức khỏe của nhân loại, đặc biệt tại các quốc gia đang phát triển, nơi việc điều trị hiệu quả đòi hỏi liệu pháp hóa trị phối hợp kéo dài nhằm ngăn ngừa sự xuất hiện của các chủng vi khuẩn kháng thuốc. Trong số các loại thuốc kháng lao hàng đầu, ethambutol (Myambutol, $C_{10}H_{24}N_2O_2$, ký hiệu là ETB) được sử dụng rộng rãi do ETB đóng vai trò kìm khuẩn bằng cách cản trở quá trình tổng hợp arabinogalactan trong thành tế bào của vi khuẩn lao [1]. Tuy nhiên, việc sử dụng liều cao hoặc điều trị kéo dài có thể gây ra các tác dụng phụ đặc trưng. Độc tính của ETB phụ thuộc vào liều và thường biểu hiện dưới dạng viêm dây thần kinh thị giác, bao gồm giảm thị lực và rối loạn phân biệt màu đỏ – xanh [2]. Việc xác định chính xác hàm lượng ETB trong các chế phẩm được phẩm có ý nghĩa quan trọng đối với kiểm soát chất lượng và hiệu quả điều trị. Hàm lượng thuốc không đủ hoặc tỷ lệ phối hợp không chính xác có thể dẫn đến thất bại trong điều trị, tăng độc tính hoặc gây ra bệnh lao đa kháng thuốc. Vì vậy, các phương pháp phân tích có khả năng xác định hoạt chất này có ý nghĩa thực tiễn cao. Nhiều kỹ thuật phân tích đã được công bố cho việc định lượng ETB. Hao Ruan và cộng sự đã sử dụng phương pháp sắc ký lỏng hiệu năng cao để xác định ETB [3]. Kỹ thuật này được xem là phương pháp chuẩn để định lượng các dược chất nhưng thường yêu cầu quy trình phân tích tốn thời gian, tiền xử lý mẫu phức tạp, tiêu tốn nhiều dung môi và sử dụng thiết bị đắt tiền. Các phương pháp điện hóa ngày càng được ưa chuộng trong phân tích dược phẩm nhờ độ nhạy cao, thao tác đơn giản, chi phí thấp và khả năng ứng dụng tại chỗ. Tuy nhiên, việc phát hiện trực tiếp ETB trên điện cực trần thường gặp hạn chế như độ nhạy thấp và

độ phân giải tín hiệu kém. Để khắc phục vấn đề này, các nhà nghiên cứu đã tập trung vào việc biến tính bề mặt điện cực bằng các vật liệu chức năng tiên tiến nhằm tăng cường sự chuyển dịch electron, cải thiện độ chọn lọc và cho phép xác định đồng thời nhiều chất phân tích.

Vật liệu khung cơ kim đang thu hút sự quan tâm lớn trong lĩnh vực cảm biến điện hóa nhờ diện tích bề mặt lớn, cấu trúc mao quản điều chỉnh được và có nhiều tâm hoạt động [4, 5]. Trong số đó, UiO-66 nổi bật với độ bền hóa học và độ bền nhiệt cao trong môi trường nước, đặc biệt phù hợp cho các ứng dụng điện phân tích [6, 7]. Việc pha tạp vanadium vào khung UiO-66 có thể tạo thêm các tâm oxy hóa khử hoạt động [8], tăng cường độ dẫn điện và nâng cao hoạt tính điện xúc tác trong các phản ứng oxy hóa [9]. Sự kết hợp giữa cấu trúc mao quản của UiO-66 và các tâm hoạt động của vanadium được kỳ vọng sẽ cải thiện khả năng hấp phụ phân tử mục tiêu và tăng hiệu quả chuyển điện tích.

Trong nghiên cứu này, điện cực carbon thủy tinh (GCE) được biến tính bằng vật liệu UiO-66 pha tạp với vanadium (V/UiO-66/GCE) nhằm phát triển phương pháp xác định điện hóa ETB trong viên nén dược phẩm. Điện cực biến tính cho thấy tín hiệu oxy hóa tách biệt rõ ràng, cho phép định lượng chọn lọc và nhạy trong một phép đo duy nhất. Phương pháp cho phép kiểm soát chất lượng thường quy một cách đơn giản và tin cậy, đồng thời khẳng định tiềm năng của vật liệu MOF nền V/UiO-66 trong các ứng dụng cảm biến điện hóa tiên tiến.

2 Thực nghiệm

2.1 Hóa chất

Ethambutol ($C_{10}H_{24}N_2O_2$, độ tinh khiết trên 99%,) đạt cấp phân tích, do hãng Merck cung cấp. Zirconium(IV) chloride ($ZrCl_4$, 99%), terephthalic acid ($C_6H_4(CO_2H)_2$, > 97%), N,N-dimethylformamide (C_3H_7NO , 99%, DMF), ethanol (C_2H_5OH), methanol (CH_3OH), vanadium V oxide (V_2O_5 , > 98%), hydrochloric acid (HCl), boric acid (H_3BO_3), acetic acid (CH_3COOH) và phosphoric acid (H_3PO_4 , 85%) cũng được mua từ hãng Merck.

2.2 Thiết bị

Cấu trúc và hình thái của UiO-66 và V/UiO-66 được đặc trưng trên máy nhiễu xạ tia X (XRD, Bruker D8 Advance) và kính hiển vi điện tử quét (SEM, JEOL JSM-7610F). Phổ tổng trở điện hóa (EIS) được ghi trên thiết bị Autolab PGSTAT302N. Phân tích lập bản đồ nguyên tố EDX được thực hiện trên kính hiển vi điện tử quét phát xạ trường Hitachi S-4800 (Nhật Bản).

Các thí nghiệm điện hóa được tiến hành trên máy phân tích điện hóa CPA-HH5 sử dụng hệ ba điện cực truyền thống, gồm điện cực làm việc là V/UiO-66/GCE, điện cực so sánh Ag/AgCl (3 M KCl) và điện cực đối là dây platin. Tất cả các phép đo được tiến hành trong dung dịch đệm Britton-Robinson (BRS 0,1 M). Phương pháp quét thế vòng và von-ampe xung vi phân (DPV) được sử dụng để đánh giá đáp ứng điện hóa đối với ETB.

Phép đo phổ trở kháng điện hóa được thực hiện bằng máy đo điện thế đa kênh (VSP-3, Bio-Logic, Pháp) với biên độ dòng điện xoay chiều 10 mV trong dải tần số từ 1 MHz đến 0,01 Hz.

Phổ Raman: Phép đo quang phổ Raman được thực hiện trên thiết bị Xplora Plus (Horiba, Nhật Bản) với bước sóng ánh sáng kích thích là 785 nm.

2.3 Điều chế UiO-66 và V/UiO-66

Vật liệu V/UiO-66 được tổng hợp tương tự như công bố của Đinh Quang Khiếu và cộng sự với một số điều chỉnh phù hợp [10]. Chuẩn bị ống nghiệm chịu nhiệt có nắp đậy với dung tích 50 mL; cho vào ống 0,0530 g $ZrCl_4$, 0,038 g terephthalic acid và 5 mL DMF; siêu âm đến khi thu được dung dịch trong suốt (A). Chuẩn bị dung dịch thứ hai gồm 0,018 g V_2O_5 trong 20 mL dung dịch HCl 0,12 M; siêu âm đến khi dung dịch trong suốt (B). Cho 0,284 mL dung dịch B vào dung dịch A rồi tiến hành xử lý thủy nhiệt ống nghiệm ở 120 °C trong 36 giờ. Sau phản ứng, tách pha rắn; ngâm rửa bằng DMF trong 24 giờ; lặp lại 3 lần; sau đó rửa bằng methanol (MeOH) và sấy khô ở 60 °C trong 24 giờ, thu được vật liệu V/UiO-66. Tiến hành tương tự với trường hợp mẫu không sử dụng dung dịch B, vật liệu thu được là UiO-66.

2.4 Biến tính V/UiO-66

Trước khi biến tính, điện cực carbon thủy tinh được đánh bóng bằng huyền phù alumina với kích thước hạt giảm dần, sau đó rửa kỹ bằng nước cất và siêu âm lần lượt trong ethanol và nước.

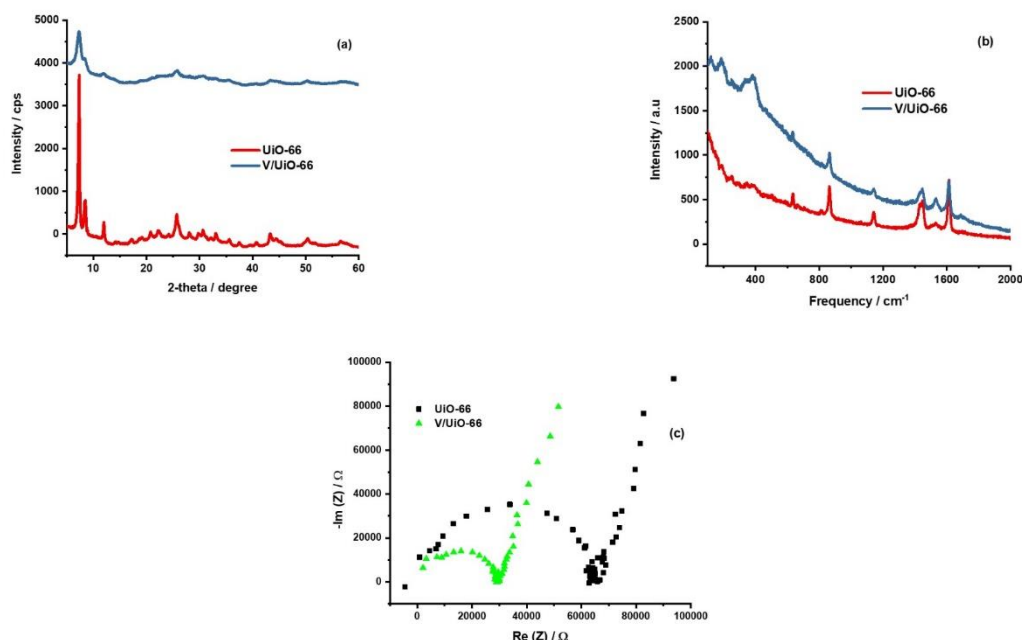
Huyền phù V/UiO-66 (1 mg.mL⁻¹) được chuẩn bị bằng cách phân tán một lượng thích hợp vật liệu trong nước trong điều kiện siêu âm. Một thể tích xác định của huyền phù (5 µL) được nhỏ giọt lên bề mặt GCE sạch và để khô ở nhiệt độ phòng để tạo điện cực V/UiO-66/GCE. Trước khi sử dụng, điện cực biến tính được rửa nhẹ bằng nước.

2.5 Chuẩn bị mẫu thực

Mẫu viên nén thương mại được xử lý như sau: 10 viên thuốc được cân chính xác để xác định khối lượng trung bình, sau đó nghiền mịn. Một lượng thích hợp bột thuốc được cân chính xác và chuyển vào bình định mức 100 mL. Thêm khoảng

50 mL nước cất, siêu âm khoảng 30 phút để đảm bảo hòa tan hoàn toàn. Sau khi để nguội đến nhiệt độ phòng, dung dịch được thêm nước cất đến vạch mức, lắc đều và lọc qua giấy lọc.

Quá trình phân tích DPV được thực hiện theo phương pháp thêm chuẩn trong điều kiện tối ưu, tương ứng với nồng độ cuối cùng của chất phân tích khoảng 1,2 μM . Độ thu hồi được tính bằng cách so sánh nồng độ đo được với lượng đã thêm vào.



Hình 1. a) Giản đồ XRD; b) Phổ Raman của UiO-66 và V/UiO-66; c) Giản đồ Nyquist của UiO-66/GCE và V/UiO-66/GCE ghi trong dung dịch chứa 5,0 mM $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-/4-}$ và 0,1 M KCl

So với UiO-66, V/UiO-66 có các đỉnh với cường độ giảm nhẹ và có hiện tượng mở rộng đỉnh (peak broadening), cho thấy mức độ kết tinh giảm vừa phải do sự biến dạng mạng tinh thể khi pha tạp với vanadium. Sự mở rộng đỉnh nhiễu xạ cho thấy kích thước tinh thể giảm. Điều này thường liên quan đến sự gia tăng mật độ khuyết tật bề mặt và số lượng tâm hoạt động điện hóa.

Kích thước tinh thể trung bình (D) của UiO-66 và V/UiO-66 được tính bằng phương trình Scherrer: $D = K\lambda/\beta\cos\theta$, trong đó K là hệ số hình

3 Kết quả và thảo luận

3.1 Đặc trưng vật liệu

Trên giản đồ XRD của vật liệu V/UiO-66 tổng hợp có các đỉnh nhiễu xạ sắc nét, đặc trưng cho cấu trúc khung UiO-66 (Hình 1a) [11], chứng tỏ cấu trúc tinh thể vẫn được bảo toàn sau khi pha tạp với vanadium. Không quan sát thấy các đỉnh tạp chất liên quan đến các pha vanadium oxide, chứng tỏ V đã được đưa vào mạng tinh thể UiO-66 thành công hoặc phân tán tốt mà không hình thành pha tinh thể riêng biệt.

dạng (giả định bằng 0,9); λ là bước sóng của tia X (Cu $K\alpha$, 0,15406 nm); β là độ rộng nửa chiều cao của đỉnh nhiễu xạ được chọn; θ là góc Bragg. Kích thước hạt của UiO-66 và V/UiO-66 lần lượt là 28,1 và 10,1 nm. Kích thước tinh thể tính được vào khoảng vài chục nanomet, phù hợp với hiện tượng mở rộng đỉnh quan sát và xác nhận bản chất nano tinh thể của vật liệu V/UiO-66.

Trên phổ Raman của UiO-66 có các dải hấp thụ đặc trưng của khung Zr-BDC (BDC: benzene-1,4-dicarboxylate) (Hình 1b). Các đỉnh trong vùng

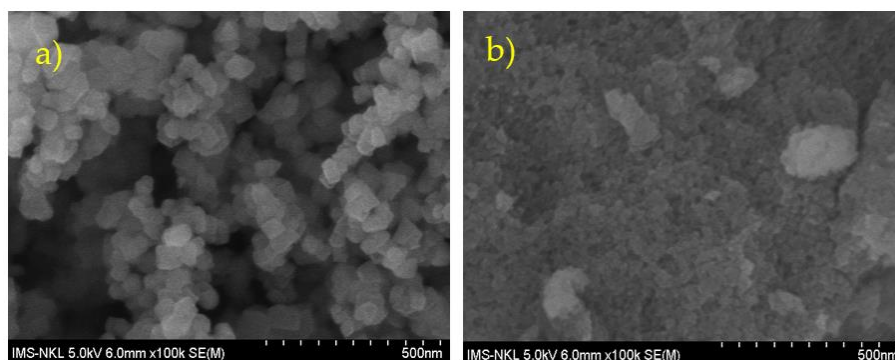
số sóng thấp (dưới $\sim 800\text{ cm}^{-1}$) liên quan đến dao động của liên kết Zr–O và dao động uốn của cụm $\text{Zr}_6\text{O}_4(\text{OH})_4$, trong khi các dải trong vùng $1000\text{--}1700\text{ cm}^{-1}$ được gán cho dao động kéo giãn của vòng thơm C=C và nhóm carboxylate ($-\text{COO}^-$) của phối tử terephthalate [12].

Sau khi pha tạp với vanadium, các phổ Raman của V/UiO-66 vẫn có các dải đặc trưng của cấu trúc của UiO-66, cho thấy khung MOF không bị phá hủy trong quá trình đưa V vào mạng tinh thể, nhưng có thể quan sát thấy sự thay đổi nhẹ về cường độ và độ rộng của các dải hấp thụ. Sự gia tăng cường độ nền và hiện tượng mở rộng đỉnh cho thấy sự xuất hiện của khuyết tật cấu trúc và biến dạng mạng tinh thể do quá trình pha tạp. Trên phổ Raman không xuất hiện các dải riêng biệt đặc trưng cho pha vanadium oxide tinh thể, chứng tỏ vanadium được phân tán tốt hoặc tích hợp vào khung UiO-66 thay vì hình thành pha phụ riêng biệt.

Những kết quả này phù hợp với phân tích XRD, khẳng định rằng cấu trúc tinh thể UiO-66 được bảo toàn sau khi pha tạp với vanadium.

Trên giản đồ Nyquist của phổ tổng trở điện hóa (Hình 1c), phần bán nguyệt ở vùng tần số cao đặc trưng cho quá trình chuyển electron bị điện tích khổng chế, trong khi phần đường thẳng ở vùng tần số thấp được gán cho quá trình khuếch tán (trở kháng Warburg). Do đó, điện trở chuyển điện tích (R_{ct}) phản ánh mức độ cản trở quá trình trao đổi electron tại bề mặt điện cực. R_{ct} của UiO-66 và V/UiO-66 lần lượt là $57784\ \Omega$ và $48778\ \Omega$. Kết quả EIS trên Hình 1c cho thấy điện trở chuyển điện tích giảm rõ rệt sau khi pha tạp với vanadium. Cụ thể, UiO-66 nguyên thủy có giá trị R_{ct} cao, khoảng $57784\ \Omega$, trong khi giá trị này giảm xuống còn khoảng $48778\ \Omega$ đối với mẫu V/UiO-66. Sự cải thiện đáng kể khả năng chuyển electron này có thể là do sự xuất hiện của các tâm oxy hóa khử hoạt động của vanadium, góp phần tăng độ dẫn điện của vật liệu.

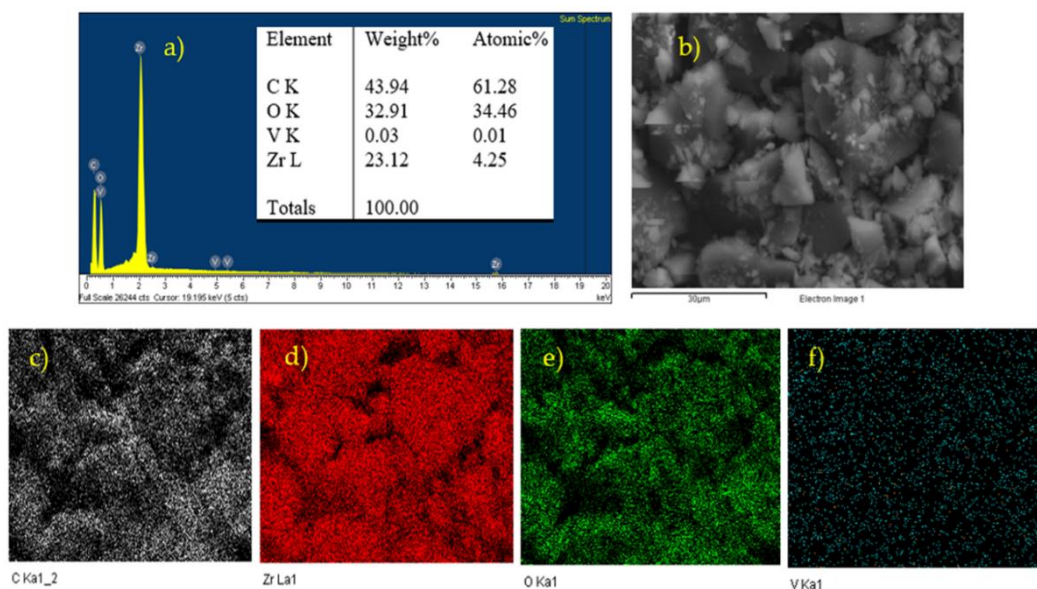
Ảnh SEM (Hình 2) cho thấy vật liệu UiO-66 có dạng hạt nano đa diện tương đối đồng đều, với ranh giới hạt rõ ràng. Khi pha tạp với vanadium, các mẫu V/UiO-66 vẫn duy trì hình thái tổng thể ban đầu, nhưng có hiện tượng kết tụ nhẹ giữa các hạt và bề mặt trở nên thô hơn.



Hình 2. Ảnh SEM của a) UiO-66 và b) V/UiO-66

Phổ EDX (Hình 3a) cho thấy sự có mặt của các nguyên tố C, O, Zr và V, phù hợp với thành phần hóa học dự kiến của vật liệu V/UiO-66. Không quan sát thấy tín hiệu của các nguyên tố tạp khác, chứng tỏ độ tinh khiết tương đối cao của mẫu tổng hợp. Các Hình 3c, d, e, f cho thấy C, Zr và O phân bố đồng đều trên toàn bộ cấu trúc,

phản ánh sự hình thành ổn định của khung UiO-66. Đáng chú ý là nguyên tố V cũng phân bố tương đối đồng nhất trong vật liệu (Hình 3f), cho thấy vanadium đã được đưa thành công vào cấu trúc mà không hình thành các vùng tập trung cục bộ hoặc pha riêng biệt.



Hình 3. Phổ EDX và EDX mapping của V/UIO-66: a) EDX; b) Ảnh điện tử; c) Nguyên tố C; d) Nguyên tố Zr; e) Nguyên tố O; f) Nguyên tố V

Kết quả EDX-mapping phù hợp với phân tích XRD và SEM, khẳng định sự pha tạp vanadium thành công vào khung UiO-66 và sự phân tán tốt của nguyên tố V trong vật liệu.

3.2 Phân tích điện hóa ethambutol hydroclorid (ETB) trong dược phẩm sử dụng điện cực cacbon thủy tinh nền V/UIO-66

Tính chất điện hóa của các điện cực khác nhau

Hình 4a trình bày các đường quét thế vòng của ETB trên điện cực GCE trần và các điện cực biến tính khác nhau. So với GCE trần, UiO-66/GCE cho thấy tín hiệu dòng anode tăng rõ rệt, phản ánh khả năng hấp phụ được cải thiện nhờ cấu trúc mao quản của khung MOF. Khi pha tạp với vanadium, các điện cực V/UIO-66 làm tăng mạnh dòng đỉnh oxy hóa đối với chất phân tích, chứng tỏ hiệu ứng hiệp đồng rõ rệt giữa cấu trúc UiO-66 và các tâm hoạt động của vanadium. Sự kết hợp này thúc đẩy tốc độ chuyển điện tích và làm tăng diện tích bề mặt điện hóa hiệu dụng.

Trong số các thành phần khảo sát, điện cực V/UIO-66/GCE cho dòng đỉnh cao nhất. Để minh

họa rõ hơn sự khác biệt này, chúng tôi so sánh các giá trị dòng đỉnh tương ứng tại từng điện cực trên Hình 4b. Kết quả cho thấy V/UIO-66/GCE đáp ứng dòng lớn nhất và độ lặp lại tốt nhất đối với ETB ($n = 3$). Do đó, điện cực này được chọn cho các nghiên cứu điện hóa tiếp theo.

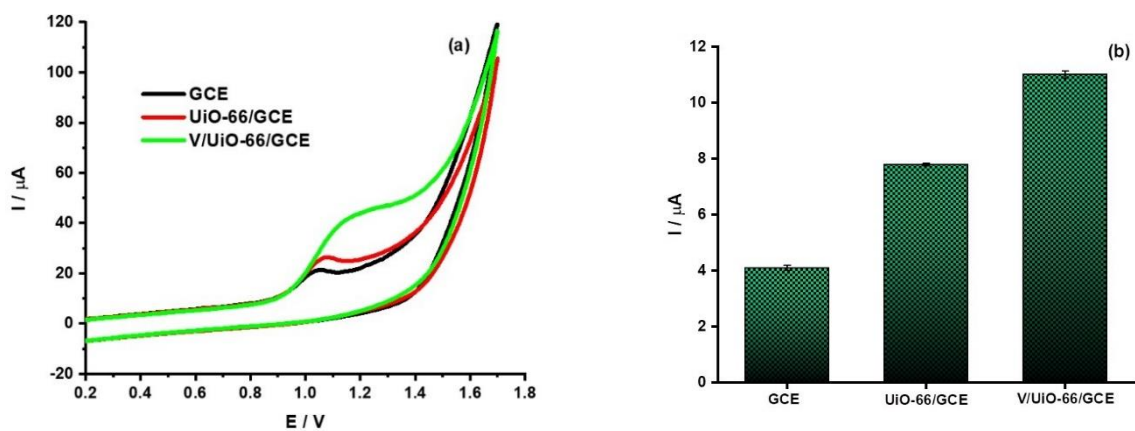
Khoảng tuyến tính và giới hạn phát hiện

Dòng đỉnh tăng tuyến tính theo nồng độ của ETB trong khoảng 1,0–10,0 μM , tuân theo phương trình hồi quy:

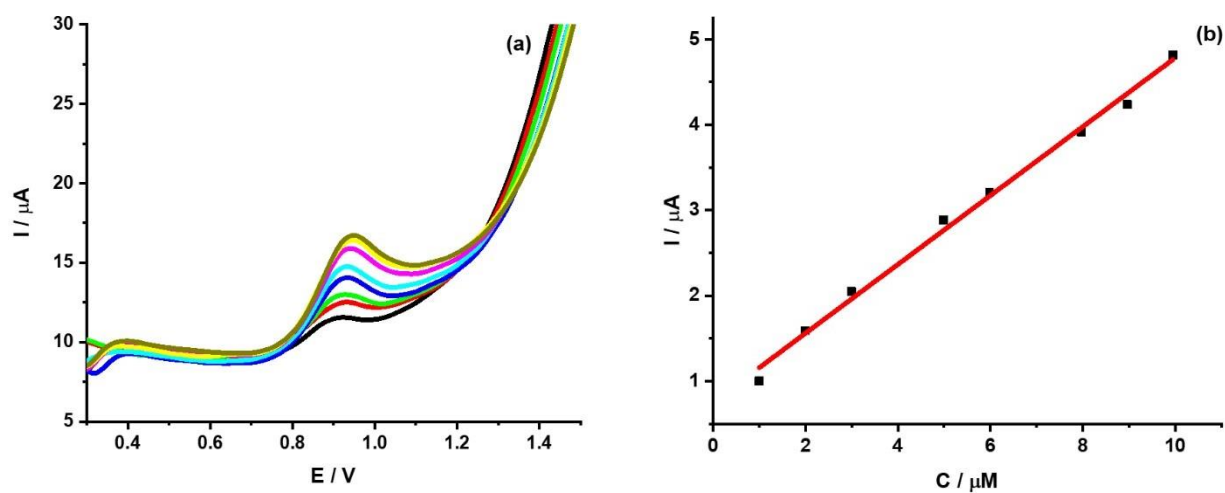
$$I_{p, \text{ETH}} = (0,75409 \pm 0,07796) + (0,40296 \pm 0,01238) \times C_{\text{ETH}}; R^2 = 0,9944.$$

Giới hạn phát hiện (LOD) của ETB được tính theo công thức $3S/b$ [13] là 0,81 μM (trong đó S là độ lệch chuẩn và b là hệ số góc của phương trình hồi quy tuyến tính). Tương ứng, giới hạn định lượng (LOQ, $10S/b$) là 2,67 μM .

Như trình bày trong Bảng 1, giá trị LOD bằng 0,81 μM đối với ETB là tương đối thấp khi so sánh với các cảm biến đã được công bố trước đây.



Hình 4. (a) Các đường quét thế vòng của các điện cực khác nhau ghi trong dung dịch chứa ETB 25 μM trong đệm BRS 0,02 M (pH = 6,0) tại tốc độ quét $v = 0,2 V.s^{-1}$; (b) So sánh dòng đỉnh tại các điện cực khác nhau ($n = 3$)



Hình 5. (a) Các đường von-ampe xung vi phân của điện cực V/UiO-66/GCE ghi trong đệm BRS 0,02 M (pH = 6,0) với nồng độ ETB trong khoảng 1,0–10,0 μM ; (b) Đường chuẩn tuyến tính biểu diễn mối quan hệ giữa dòng đỉnh và nồng độ ETB

Bảng 1. So sánh hiệu quả phân tích của cảm biến hiện tại với các cảm biến ETB đã công bố

Điện cực	Kỹ thuật đo điện hóa	Khoảng tuyến tính, μM	LOD, μM	TLTK
P _{mel} -Au _{nano} /GCE	DPV	0,5–150	0,21	[14]
Au/PANSA/PVP-AgNPs	Chronoamperometric	2–12	0,70	[15]
V/UiO-66/GCE	DPV	1–10	0,81	Nghiên cứu này
Điện cực composite graphite-polyurethane	Amperometric	500–1100	63,4	[16]
Điện cực composite Graphite-paraffin	Amperometric	250–1500	100,0	[17]

Ứng dụng thực tế

Tính khả thi của phương pháp DPV đề xuất đã được đánh giá trên mẫu viên nén được phẩm thương mại theo phương pháp thêm chuẩn. Như trình bày trong Bảng 2, hàm lượng ETB xác định được trong chế phẩm viên nén phù hợp chặt chẽ với hàm lượng ghi trên nhãn, với độ chính xác cao

(SD = 3,24%). Trong thí nghiệm thu hồi, một lượng xác định chất phân tích được thêm vào mẫu. Độ thu hồi đối với mẫu được phẩm là 95,50% với độ lệch chuẩn thấp. Các kết quả này khẳng định độ đúng, độ chính xác và tính ứng dụng thực tiễn của cảm biến đề xuất trong việc xác định ETB trong mẫu thực.

Bảng 2. Kết quả phân tích và độ thu hồi của ETB trong mẫu thuốc

Mẫu	Chất phân tích	Hàm lượng ± SD (mg)	Thêm vào (µM)	Tìm thấy ± SD (µM)	Độ thu hồi (%)
Ethambutol HCl BP 400 (nhãn: 400 mg ETB/viên)	ETB	387,12 ± 3,24	4,0	3,82 ± 0,16	95,50

4 Kết luận

Trong nghiên cứu này, điện cực carbon thủy tinh biến tính bằng vật liệu khung cơ kim UiO-66 pha tạp với vanadium đã được chế tạo thành công để xác định hàm lượng ethambutol bằng phương pháp điện hóa. Các phân tích cấu trúc và hình thái đã xác nhận việc đưa thành công vanadium vào khung UiO-66, trong khi các nghiên cứu điện hóa cho thấy có sự cải thiện rõ rệt về khả năng chuyển điện tích và sự gia tăng diện tích bề mặt điện hóa hiệu dụng của điện cực biến tính. Điện cực biến tính V/UiO-66/GCE được sử dụng để định lượng ethambutol với giới hạn phát hiện là 0,81 µmol.L⁻¹. Tính ứng dụng thực tế của cảm biến đã được chứng minh thông qua phân tích các mẫu viên nén thương mại với độ thu hồi là 95,50%. Nhìn chung, cảm biến V/UiO-66/GCE là một thiết bị điện hóa đơn giản, nhạy để xác định ethambutol.

Lời cảm ơn

Công trình này được Bộ Giáo dục và Đào tạo Việt Nam hỗ trợ trong khuôn khổ Đề tài cấp Bộ, mã số B2024-DHH-05.

Tài liệu tham khảo

1. Telenti A, Philipp WJ, Sreevatsan S, Bernasconi C, Stockbauer KE, Wiele B, et al. The emb operon, a gene cluster of Mycobacterium tuberculosis involved in resistance to ethambutol. Nature medicine. 1997;3(5):567-70.
2. Kim J, Ahn SJ. Risk factors of optic neuropathy in ethambutol users: interaction with isoniazid and other associated conditions of toxic optic neuropathy. Toxics. 2024;12(8):549.
3. Ruan H, Luo Y, Yang Q, Liu C, Shi Y, Ye M, et al. A Novel Derivatization-Free Approach for Analysis of (+) 2-Aminobutanol and Ethambutol Hydrochloride in Tablets Preparation Using RP-HPLC-NQAD. Biomedical Chromatography. 2025;39(4):e70049.
4. Sun N, Shah SSA, Lin Z, Zheng Y-Z, Jiao L, Jiang H-L. MOF-based electrocatalysts: an overview from the perspective of structural design. Chemical reviews. 2025;125(5):2703-92.
5. Fonseca RR, de Q. Ferreira R, Luz PP. MOF-modified electrodes applied as electrochemical sensors for voltammetric determinations. Journal of Solid State Electrochemistry. 2025;29(3):837-54.
6. Ahmadijokani F, Mohammadkhani R, Ahmadiyouya S, Shokrgozar A, Rezakazemi M, Molavi H, et al. Superior chemical stability of UiO-66 metal-organic frameworks (MOFs) for selective dye adsorption. Chemical Engineering Journal. 2020;399:125346.

7. Fang S-Y, Zhang P, Gong J-L, Tang L, Zeng G-M, Song B, et al. Construction of highly water-stable metal-organic framework UiO-66 thin-film composite membrane for dyes and antibiotics separation. *Chemical Engineering Journal*. 2020;385:123400.
8. NS S, Basu N, Cahay M, MN S, Mal SS, Das PP. Redox-active vanadium-based polyoxometalate as an active element in resistive switching based nonvolatile molecular memory. *physica status solidi (a)*. 2020;217(18):2000306.
9. Niaz N, Naz S, Khan AS, Hussain F, Kanwal M, Arooj A, et al. Synthesis and Characterization of V2O5/rGO Hybrid Nanowire Composites as Electrode Materials for Energy Storage Applications. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*. 2025:1–13.
10. Trinh LH, Hien NV, Man NQ, Khieu DQ. Electrochemical Determination of Sildenafil Using Ni/UiO-66-Modified Electrode. *Journal of Nanotechnology*. 2025;2025(1):5338076.
11. El-Sayed E-SM, Yuan D. Waste to MOFs: sustainable linker, metal, and solvent sources for value-added MOF synthesis and applications. *Green Chemistry*. 2020;22(13):4082-104.
12. Nagarjun N, Concepcion P, Dhakshinamoorthy A. Influence of oxophilic behavior of UiO-66 (Ce) metal-organic framework with superior catalytic performance in Friedel-Crafts alkylation reaction. *Applied Organometallic Chemistry*. 2020;34(5):e5578.
13. Miller J, Miller JC. *Statistics and chemometrics for analytical chemistry*. London: Pearson education; 2018.
14. Sepehri Z, Bagheri H, Ranjbari E, Amiri-Aref M, Amidi S, Rouini MR, et al. Simultaneous electrochemical determination of isoniazid and ethambutol using poly-melamine/electrodeposited gold nanoparticles modified pre-anodized glassy carbon electrode. *Ionics*. 2018;24(4):1253-63.
15. Ngece RF, West N, Ndangili PM, Olowu RA, Williams A, Hendricks N, et al. A silver nanoparticle/poly (8-anilino-1-naphthalene sulphonic acid) bioelectrochemical biosensor system for the analytical determination of ethambutol. *International Journal of Electrochemical Science*. 2011;6(6):1820-34.
16. Perantoni CB, de Azevedo AB, Vaz FA, de Oliveira MA, Matos RC, Lowinsohn D. Flow injection analysis of ethambutol in synthetic urine using a graphite-polyurethane composite electrode as an amperometric detector. *Central European Journal of Chemistry*. 2013; 11(10):1668–73.
17. Bellei Perantoni C, Soares Carbogim LG, Silva Semaan F, Camargo Matos R, Lowinsohn D. Flow Injection Analysis of Ethambutol in Antituberculosis Drugs Using a Graphite-Paraffin Electrode as Amperometric Detector. *Electroanalysis*. 2011;23(11):2582-5.