

## VẬT LIỆU XÚC TÁC ĐIỆN HÓA CERIUM TRÊN NỀN NICKEL FOAM CHO PHẢN ỨNG OXY HÓA UREA

Nguyễn Công Hồng Nhật<sup>1</sup>, Nguyễn Thị Hồng Hạnh<sup>1</sup>, Lê Lâm Sơn<sup>1</sup>,  
Nguyễn Thị Thanh Huyền<sup>2</sup>, Cao Thành Lộc<sup>2</sup>,  
Trần Thanh Thiện<sup>2</sup>, Lê Trung Hiếu<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Khoa Hóa, Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế

<sup>2</sup> Đại học Duy Tân

\*Email: lthieu@hueuni.edu.vn

Ngày nhận bài: 30/12/2025; ngày hoàn thành phản biện: 17/01/2026; ngày duyệt đăng: 23/01/2026

### TÓM TẮT

Phản ứng oxy hóa urea (UOR) kết hợp với quá trình sản xuất hydrogen được xem là một giải pháp điện hóa hiệu quả, cho phép xử lý nguồn ô nhiễm urea đồng thời giảm năng lượng tiêu thụ của hệ điện phân. Trong nghiên cứu này, vật liệu xúc tác cerium trên nền nickel foam (Ce@NF) đã được tổng hợp bằng phương pháp thủy nhiệt đơn giản, tạo thành điện cực có cấu trúc ổn định và bề mặt hoạt tính cao. Kết quả điện hóa cho thấy điện cực Ce@NF thể hiện hoạt tính xúc tác vượt trội đối với UOR, đạt điện thế thấp chỉ 1,41 V so với điện cực hydrogen tiêu chuẩn (RHE) tại mật độ dòng điện 10 mA·cm<sup>-2</sup>. Hiệu suất cải thiện này được quy cho sự phân bố đồng đều của pha cerium oxide trên nền NF, góp phần thúc đẩy quá trình truyền điện tích và nâng cao động học phản ứng. Những kết quả thu được cho thấy Ce@NF là ứng viên đầy triển vọng và mở ra tiềm năng ứng dụng trong xử lý nước thải chứa urê và phát triển các công nghệ điện hóa năng lượng sạch.

**Từ khóa:** Cerium, hydrogen, nickel foam, urê, xúc tác điện hóa.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Urea là một trong những thành phần phổ biến trong nước thải công nghiệp và sinh hoạt, đặc biệt từ các ngành sản xuất phân bón, dược phẩm và chế biến thực phẩm. Dưới điều kiện tự nhiên, urea có thể bị phân hủy thành các hợp chất chứa nitrogen như amonia và nitrate, gây ô nhiễm nguồn nước và tiềm ẩn rủi ro đối với sức khỏe con người cũng như hệ sinh thái [1, 2]. Mặt khác, urea cũng được xem là một hợp chất hữu cơ giàu năng lượng, có thể được khai thác như nguồn nhiên liệu tiềm năng cho quá trình sản

xuất hydrogen [3-5]. Do đó, việc phát triển các phương pháp xử lý nước thải chứa urea theo hướng bền vững, đồng thời tận dụng giá trị năng lượng của urea đang thu hút sự quan tâm lớn từ cộng đồng khoa học.

Trong bối cảnh đó, các phương pháp xử lý urea truyền thống, diễn hình bằng quá trình nitrate hóa và khử nitrate, thường đòi hỏi tiêu thụ năng lượng cao, chi phí vận hành lớn và khó kiểm soát phát thải thứ cấp. Trong những năm gần đây, phản ứng oxygen hóa điện hóa urea (urea oxidation reaction, UOR) đã nổi lên như một giải pháp thay thế đầy hứa hẹn, cho phép xử lý hiệu quả urea trong nước thải, đồng thời tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình sản sinh hydrogen ở cực âm. Do đó, việc tích hợp UOR vào hệ điện phân không chỉ giúp giảm chi phí xử lý mà còn nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng.

Mặt khác, điện phân nước để sản xuất hydrogen được xem là một trong những công nghệ sản xuất tiên tiến và thân thiện với môi trường. Tuy nhiên, phản ứng tiến hóa oxygen (oxygen evolution reaction, OER) tại cực dương có động học chậm và đòi hỏi quá thế cao làm hạn chế hiệu suất tổng của phản ứng [6-10]. Để khắc phục nhược điểm này, nhiều phản ứng oxygen hóa thay thế có động học thuận lợi hơn đã được đề xuất, chẳng hạn như oxy hóa methanol [11], ethanol [12] và urea [5, 13]. Nhờ yêu cầu điện thế thấp hơn và đặc tính nhiệt động học ưu việt, UOR được đánh giá là một trong những giải pháp hiệu quả nhằm giảm tiêu thụ năng lượng cho quá trình điện phân, đồng thời mang lại lợi ích kép trong xử lý nước thải chứa urea và sản xuất hydrogen [4, 14].

Hiệu suất của quá trình UOR phụ thuộc vào chất xúc tác điện hóa. Các vật liệu xúc tác dựa trên kim loại quý như Pt, Ru và các composite của chúng thể hiện hoạt tính UOR vượt trội [15, 16]. Tuy nhiên, chi phí cao, nguồn cung hạn chế và độ bền thấp đã cản trở khả năng ứng dụng quy mô lớn của các vật liệu này [17]. Vì vậy, việc phát triển vật liệu xúc tác trên cơ sở các kim loại chuyển tiếp và oxide của chúng, đang trở thành hướng nghiên cứu trọng tâm nhằm thay thế các kim loại quý mà vẫn đảm bảo hiệu suất cao [18]. Trong số đó, cerium oxide ( $\text{CeO}_2$ ) là vật liệu nổi bật nhờ vào khả năng chuyển đổi linh hoạt giữa hai trạng thái hóa trị  $\text{Ce}^{3+}/\text{Ce}^{4+}$ , giúp cải thiện động học phản ứng bề mặt và tăng cường khả năng vận chuyển oxygen [19]. Đặc biệt, sự hiện diện của các khuyết tật oxygen trong  $\text{CeO}_2$  được cho là yếu tố quan trọng giúp tăng cường quá trình hấp phụ và kích hoạt phân tử urea, từ đó nâng cao hoạt tính xúc tác [20].

Bên cạnh đó, tấm bọt nickel (nickel foam, NF) được xem là vật liệu nền lý tưởng nhờ cấu trúc xốp ba chiều, độ dẫn điện cao và độ bền cơ học tốt. Việc tích hợp  $\text{CeO}_2$  trên nền NF không chỉ giúp phân tán đồng đều pha hoạt tính, đồng thời tăng cường sự tiếp xúc giữa điện cực, chất điện phân và chất phản ứng, từ đó cải thiện đáng kể hiệu suất điện hóa [21].

Trong nghiên cứu này, chúng tôi đã tổng hợp thành công vật liệu xúc tác  $\text{Ce@NF}$  và đánh giá hiệu quả xúc tác của vật liệu cho phản ứng UOR. Kết quả cho thấy vật liệu

Ce@NF thể hiện hoạt tính xúc tác vượt trội, đạt điện thế thấp chỉ 1,41 V (so với RHE) tại mật độ dòng điện  $10 \text{ mA}\cdot\text{cm}^{-2}$ . Những kết quả này cho thấy Ce@NF là một ứng viên tiềm năng cho quá trình xử lý urea kết hợp sản xuất hydrogen và bền vững về năng lượng.

## 2. THỰC NGHIỆM

### 2.1. Hóa chất

Các hóa chất được sử dụng trong nghiên cứu bao gồm cerium (III) nitrate ( $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), potassium hydroxide (KOH), urea ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ,  $\geq 99\%$ ), HCl (acid hydrochloric, 36%), ethanol ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ , 99 %) được sản xuất bởi Sigma Aldrich. Tất cả các hóa chất được sử dụng trực tiếp mà không cần tinh chế thêm. Nickel Foam (NF) có độ tinh khiết  $> 99\%$  với độ dày 0,5 mm được cung cấp bởi Beijing Beike 2D Materials Co., Ltd. Nước cất được sử dụng trong quá trình thí nghiệm có độ dẫn điện nhỏ hơn  $0,1 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ .

### 2.2. Quá trình tổng hợp điện cực Ce@NF

Điện cực Ce@NF được tổng hợp bằng phương pháp thủy nhiệt. Trước tiên, tấm NF có kích thước  $3,5 \text{ cm} \times 3,5 \text{ cm}$  được xử lý bằng cách ngâm trong dung dịch HCl và ethanol, sau đó rửa lại bằng nước cất và ethanol trước khi sấy khô ở  $60^\circ\text{C}$ . Tiếp theo, 0,175 g  $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$  được hòa tan trong 50,0 mL nước cất và khuấy trong 2 giờ để thu được dung dịch đồng nhất. Hỗn hợp dung dịch được chuyển vào bình Teflon (dung tích 100 ml) chứa sẵn tấm NF và tiến hành thủy nhiệt ở nhiệt độ  $160^\circ\text{C}$  trong 16 giờ. Sau khi phản ứng kết thúc, mẫu Ce@NF thu được được rửa sạch nhiều lần bằng nước cất và ethanol, sau đó sấy khô qua đêm ở nhiệt độ  $60^\circ\text{C}$ .

### 2.3. Phân tích đặc trưng

Thành phần pha tinh thể của vật liệu xúc tác được xác định bằng máy nhiễu xạ tia X (XRD) trên SmartLab X-ray Diffractometer (Rigaku, Nhật Bản) với bức xạ  $\text{Cu K}\alpha$ . Hình thái của vật liệu được quan sát bằng kính hiển vi điện tử quét (SEM) trên Vega 3 (Tescan, Cộng hòa Séc). Thành phần nguyên tố của các mẫu tổng hợp được xác định bằng phổ tán sắc năng lượng tia X (EDS) được phân tích trên Bruker 630M (Bruker, Đức) tích hợp trên hệ SEM.

### 2.4. Phân tích điện hóa

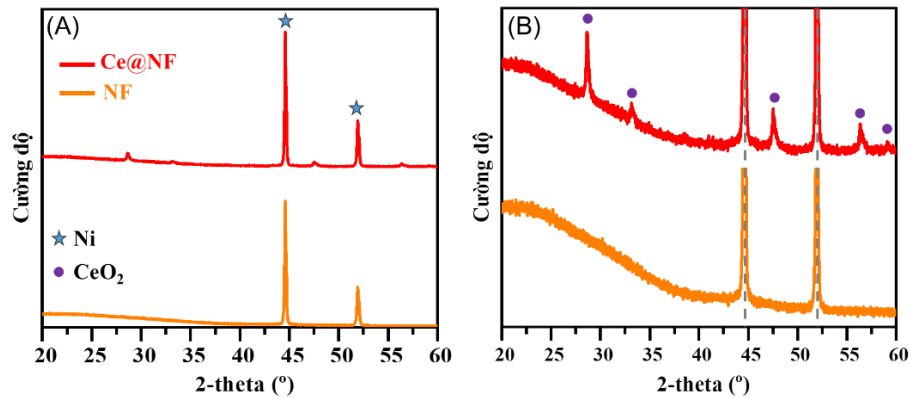
Tất cả các phép đo điện hóa được tiến hành trên hệ ba điện cực sử dụng thiết bị điện hóa CORRITEST (Trung Quốc). Trong đó, điện cực Hg/HgO (reference electrode, RE) được dùng làm điện cực so sánh, điện cực platinum (counter electrode, CE) làm điện cực đối, và mẫu tổng hợp được sử dụng làm điện cực làm việc (working electrode, WE). Diện tích bề mặt hoạt động của các điện cực được cố định là  $1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ . Tất cả các điện thế được hiệu chuẩn theo thế hydrogen thuận nghịch (RHE) bằng phương trình sau:

$$E_{RHE} = E_{(Hg/HgO)} + 0,059 \times pH + E^{\circ}_{(Hg/HgO)} \quad (1)$$

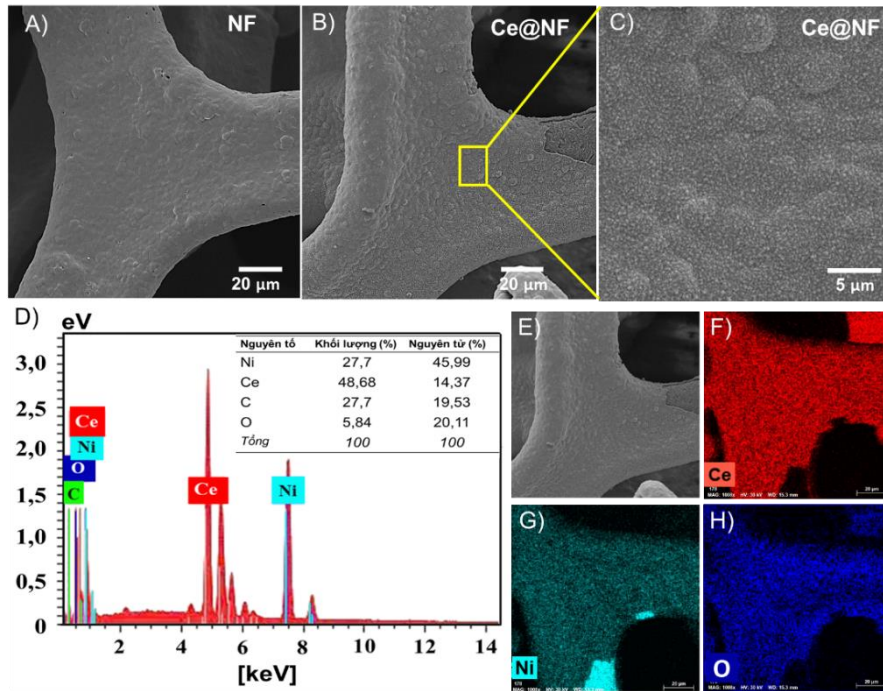
Trong nghiên cứu này, các phép đo được thực hiện trong dung dịch KOH 1,0 M và dung dịch KOH 1,0 M chứa urea 0,33 M đã được bão hòa khí N<sub>2</sub>. Trước khi đo, phép đo von-ampe vòng (cyclic voltammetry - CV) được thực hiện để kích hoạt vật liệu với tốc độ quét 50 mV·giây<sup>-1</sup> trong 20 chu kỳ. Phép đo quét thế tuyến tính (linear sweep voltammetry - LSV) được thực hiện đo với tốc độ quét 5 mV·giây<sup>-1</sup> trong khoảng điện thế từ 0 đến 1 V. Quang phổ trở kháng điện hóa (electrochemical impedance spectroscopy - EIS) được đo trong dải tần số từ 0,1 Hz – 100 kHz với biên độ 10 mV tại hiệu điện thế 1,38 V (so với RHE). Độ ổn định của điện cực tổng hợp được đánh giá thông qua phép đo CV với tốc độ 50 mV·giây<sup>-1</sup> trong 1020 chu kỳ.

### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Mẫu điện cực NF và Ce@NF được tiến hành phân tích đặc trưng cấu trúc tinh thể bằng phương pháp nhiễu xạ tia X (XRD). Kết quả XRD thể hiện trong Hình 1 của NF cho thấy các đỉnh nhiễu xạ có cường độ cao tại 44,59° và 52°, tương ứng với các mặt tinh thể đặc trưng của niken theo thẻ chuẩn JCPDS số 70-0989 [22]. Đối với mẫu Ce@NF, các đỉnh nhiễu xạ xuất hiện tại 28,6°, 33°, 47,5°, 56° và 59,1° lần lượt tương ứng với các mặt phẳng (111), (200), (220), (311), và (222). Sự xuất hiện của đỉnh trên xác nhận các pha cấu trúc tinh thể đặc trưng của CeO<sub>2</sub>, phù hợp với thẻ chuẩn JCPDS số 34-0394.



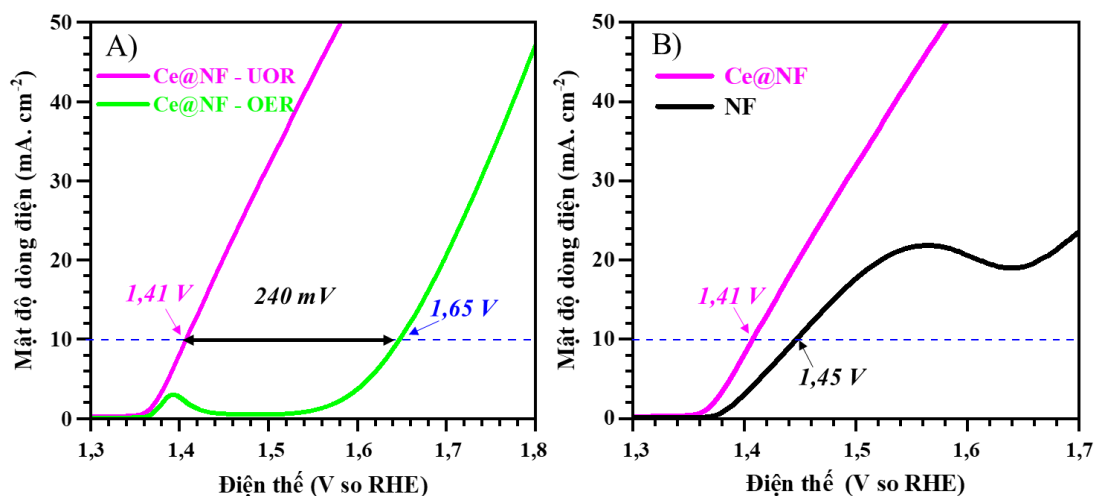
Hình 1. Giải đồ nhiễu xạ tia X (A) và hình phóng to (B) của các mẫu NF và Ce@NF



**Hình 2.** Hình thái của các điện cực NF(A), Ce@NF(B-C), phổ EDX (D) và sự phân bố của các nguyên tố (E-H) của Ce@NF.

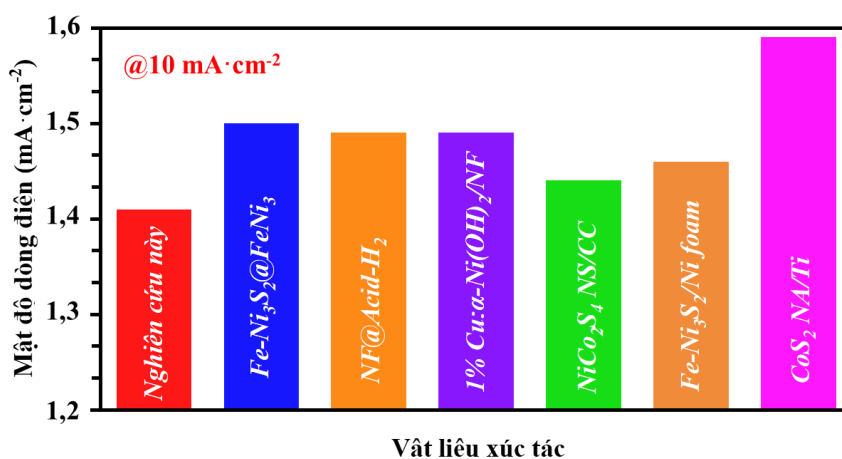
Hình ảnh hiển vi điển tử quét cho thấy NF có bề mặt tương đối phẳng và được đặc trưng bởi cấu trúc khung xốp ba chiều (Hình 2A). Sau quá trình phủ Ce, hình thái bề mặt của Ce@NF thay đổi rõ rệt, như thể hiện trong Hình 2B và 2C với sự hình thành một lớp bao phủ đồng đều trên toàn bộ khung NF, cho thấy Ce được lắng đọng hiệu quả và có tương tác cao trên nền NF. Sự phát triển đồng nhất của lớp Ce góp phần cải thiện khả năng dẫn điện của điện cực, đồng thời làm tăng diện tích bề mặt hoạt tính và mức độ tiếp xúc giữa chất xúc tác với chất điện phân, qua đó tạo điều kiện thuận lợi cho các quá trình điện hóa xảy ra.

Phổ tán xạ năng lượng tia X (EDX) (Hình 2D) khẳng định sự hiện diện của các nguyên tố Ce, O, và Ni trong mẫu Ce@NF. Đáng chú ý, hàm lượng Ce chiếm tỷ lệ khối lượng cao nhất (48,68%), chứng minh quá trình phủ Ce trên NF đạt hiệu quả tốt. Sự đồng tồn tại của Ce và O, với hàm lượng O đạt 5,84% cho thấy tồn tại dạng oxide của Ce với khuyết tật oxygen đáng kể. Kết quả bản đồ phân bố nguyên tố (Hình 2E-H) cho thấy các nguyên tố Ce và O được phân bố đồng đều trên toàn bộ bề mặt NF, khẳng định sự hình thành lớp CeO<sub>2</sub> đồng nhất. Kết quả phân tích này cũng phù hợp với dữ liệu XRD đã trình bày trước đó. Ngoài ra, sự phân bố đồng đều của pha CeO<sub>2</sub> góp phần tạo ra điện cực đồng nhất, thuận lợi cho quá trình hấp phụ và oxy hóa urea, từ đó nâng cao hiệu suất xúc tác của phản ứng UOR.



Hình 3. Đường cong LSV của vật liệu Ce@NF trong dung dịch KOH 1,0 M chứa urea 0,33 M (UOR) và không có urea (OER) (A), và Ce@NF và NF trong UOR (B).

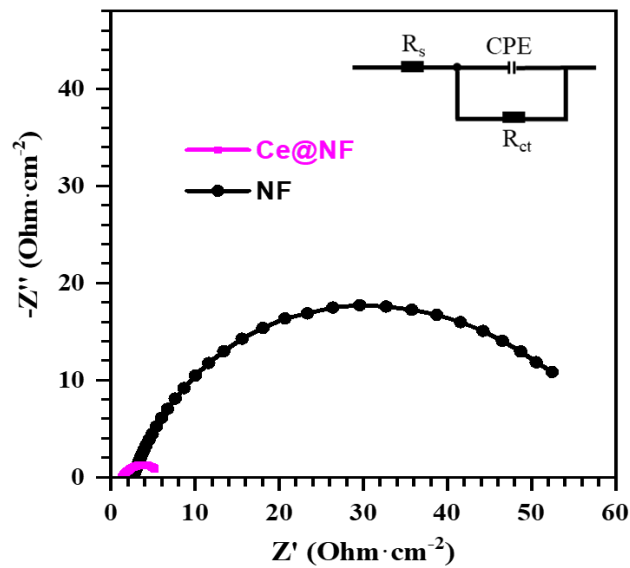
Hiệu suất xúc tác của vật liệu Ce@NF đối với phản ứng UOR được đánh giá thông qua các phép đo điện hóa sử dụng hệ ba điện cực. Hình 3A thể hiện phản ứng oxy hóa nước (OER) được khảo sát trong dung dịch KOH 1,0 M chứa và không chứa urea 0,33 M. Kết quả cho thấy, Ce@NF cần điện thế 1,65 V so với RHE ở mật độ dòng điện 10 mA·cm<sup>-2</sup>. Tuy nhiên, sau khi thêm urea 0,33 M vào KOH 1,0 M, điện cực Ce@NF chỉ cần điện thế 1,41 V so với RHE tại cùng mật độ dòng điện, thấp hơn 240 mV so với trường hợp của OER. Hình 3B so sánh hoạt tính xúc tác giữa Ce@NF với NF, cho thấy Ce@NF đạt điện thế 1,41 V so với RHE tại mật độ dòng điện 10 mA·cm<sup>-2</sup>, thể hiện hiệu suất vượt trội so với NF. Ngoài ra, kết quả thu được trong nghiên cứu này cũng thể hiện hiệu quả xúc tác cao hơn nhiều so với các hệ xúc tác đã được báo cáo trước đây, như thể hiện trong Hình 4 và Bảng 1.



Hình 4. So sánh hiệu suất xúc tác UOR của vật liệu Ce@NF với các vật liệu khác tại mật độ dòng điện 10mA·cm<sup>-2</sup>

**Bảng 1.** So sánh hiệu suất xúc tác UOR của các vật liệu khác nhau

Vật liệu	Điện thế tại 10 mA·cm <sup>-2</sup> (V so với RHE)	Dung dịch điện phân	Tài liệu tham khảo
Ce@NF	1,41	1,0 M KOH + 0,33 M Urea	Trong nghiên cứu này
Fe-Ni <sub>3</sub> S <sub>2</sub> @FeNi <sub>3</sub>	1,50	1,0 M KOH + 0,33 M Urea	[23]
NF@Acid-H <sub>2</sub>	1,49	1,0 M KOH + 0,33 M Urea	[24]
1% Cu:α-Ni(OH) <sub>2</sub> /NF	1,49	1,0 M KOH + 0,33 M Urea	[25]
NiCo <sub>2</sub> S <sub>4</sub> NS/CC	1,44	1,0 M KOH + 0,33 M Urea	[26]
Fe-Ni <sub>3</sub> S <sub>2</sub> /Ni foam	1,46	1,0 M KOH + 0,33 M Urea	[27]
CoS <sub>2</sub> NA/Ti	1,59	1,0 M KOH + 0,3 M Urea	[28]

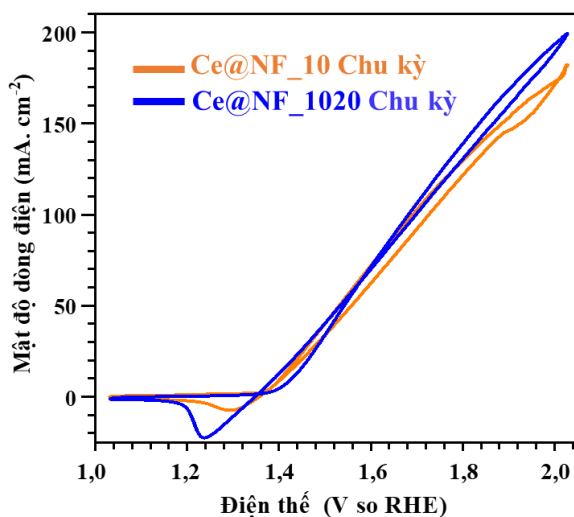


**Hình 5.** Quang phổ trở kháng điện hóa (EIS) của Ce@NF và NF

Điện trở truyền điện tích ( $R_{ct}$ ) là thông số quan trọng phản ánh động học của quá trình điện xúc tác, trong đó giá trị  $R_{ct}$  càng thấp cho thấy tốc độ truyền điện tích càng nhanh. Phân tích biểu đồ Nyquist cho thấy mẫu Ce@NF có bán nguyệt nhỏ nhất, tương ứng với giá trị  $R_{ct}$  là 1,5 Ω, nhỏ hơn nhiều so với mẫu NF (17,8 Ω) tại điện thế 1,38 V so với RHE. Kết quả này khẳng định rằng việc phủ Ce đã làm giảm trở kháng điện hóa của điện cực, đồng thời cải thiện khả năng dẫn truyền điện tử và khuếch tán ion trong quá trình phản ứng, qua đó góp phần nâng cao hiệu suất điện xúc tác đối với phản ứng UOR.

Hoạt tính xúc tác vượt trội của vật liệu Ce@NF đối với phản ứng UOR có thể được giải thích thông qua cơ chế tác động hiệp đồng giữa pha CeO<sub>2</sub> và nền nickel foam (NF). Trong hệ xúc tác này, cặp oxy hóa khử Ce<sup>3+</sup>/Ce<sup>4+</sup> đóng vai trò then chốt trong việc điều tiết cấu trúc điện tử bề mặt. Sự chuyển đổi linh hoạt giữa hai trạng thái hóa trị này tạo ra một lượng lớn các khuyết tật oxygen trên bề mặt vật liệu, điều đã được gợi ý thông qua kết quả phân tích EDX với hàm lượng oxygen thấp. Cơ chế UOR trên Ce@NF có thể diễn ra theo các bước sau:

Các khuyết tật oxygen đóng vai trò là các trung tâm hoạt động điện tử cao, ưu tiên hấp phụ các phân tử urea và nhóm OH<sup>-</sup> từ dung dịch điện phân. Sự hiện diện của CeO<sub>2</sub> giúp làm giảm rào cản năng lượng cho quá trình hấp phụ urea, đồng thời làm tăng mật độ các loài OH trên bề mặt xúc tác. Trong môi trường kiềm, nền NF chuyển đổi từ Ni(OH)<sub>2</sub> thành pha NiOOH đây là tác nhân oxy hóa trực tiếp các phân tử urea. Sự tương tác điện tử mạnh mẽ giữa Ce và Ni tại bề mặt tiếp giáp giúp hạ thấp điện thế chuyển đổi này, tạo điều kiện cho pha NiOOH hình thành sớm hơn và ổn định hơn. Bên cạnh đó, cấu trúc bọt xốp ba chiều của NF đảm bảo sự phân tán đồng nhất của các hạt nano CeO<sub>2</sub>, tạo ra diện tích tiếp xúc lớn giữa chất xúc tác và chất điện phân. Điều này không chỉ tối ưu hóa khả năng tiếp cận của urea mà còn giảm đáng kể trở kháng truyền điện tích, như đã được chứng minh qua kết quả EIS với giá trị chỉ 1,5 Ω. Sự kết hợp giữa khả năng vận chuyển oxygen linh hoạt của Cerium và độ dẫn điện cao của khung NF đã tạo ra một hiệu ứng hiệp đồng mạnh mẽ, thúc đẩy động học của phản ứng UOR diễn ra nhanh hơn so với các hệ xúc tác nickel đơn thuần.



Hình 6. Đường cong CV của vật liệu xúc tác Ce@NF trước và sau thử nghiệm 1020 chu kỳ.

Để đánh giá độ ổn định của điện cực Ce@NF thu được, phép đo Volt – ampere vòng (CV) được tiến hành với quét thế từ 1,0 – 2,0 V so với RHE ở tốc độ quét 50 mV.giây<sup>-1</sup>. Kết quả đường CV sau 1020 vòng hầu như không thay đổi so với ban đầu (Hình 6) cho thấy độ ổn định xúc tác vượt trội của vật liệu. Điều này chứng tỏ vật liệu Ce@NF có

độ bền điện hóa cao, cấu trúc bề mặt ổn định và khả năng duy trì hoạt tính xúc tác tốt trong môi trường phản ứng.

#### 4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, vật liệu xúc tác Ce trên nền NF (Ce@NF) đã được tổng hợp thành công bằng phương pháp thủy nhiệt đơn giản. Các kết quả điện hóa cho thấy Ce@NF thể hiện hoạt tính xúc tác vượt trội đối với phản ứng UOR, với điện thế chỉ 1,41 V (so với RHE) để đạt mật độ dòng điện 10 mA·cm<sup>-2</sup>. Bên cạnh đó, điện cực Ce@NF duy trì độ ổn định sau 1020 chu kỳ quét, cho thấy độ bền điện hóa cao. Nhờ hoạt tính cao và độ ổn định đáng tin cậy, vật liệu Ce@NF được đánh giá là một ứng viên tiềm năng cho các hệ thống điện hóa xử lý urea kết hợp với sản xuất hydrogen.

#### LỜI CẢM ƠN

Các tác giả ghi nhận sự hỗ trợ từ Đại học Huế trong khuôn khổ Chương trình Nhóm Nghiên cứu mạnh, Mã số: NCTB.DHH.2024.09.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Lan, R., S. Tao, and J.T.S. Irvine (2010). A direct urea fuel cell – power from fertiliser and waste, *Energy & Environmental Science*, Vol. 3, no. 4, pp. 438-441.
- [2]. Senthilkumar, N., G. Gnana kumar, and A. Manthiram (2018). 3D Hierarchical Core–Shell Nanostructured Arrays on Carbon Fibers as Catalysts for Direct Urea Fuel Cells, *Advanced Energy Materials*, Vol. 8, no. 6, pp. 1702207.
- [3]. Xu, Y. and B. Zhang (2019). Recent Advances in Electrochemical Hydrogen Production from Water Assisted by Alternative Oxidation Reactions, *ChemElectroChem*, Vol. 6, no. 13, pp. 3214-3226.
- [4]. Yu, Z.-Y., et al. (2018). Ni–Mo–O nanorod-derived composite catalysts for efficient alkaline water-to-hydrogen conversion via urea electrolysis, *Energy & Environmental Science*, Vol. 11, no. 7, pp. 1890-1897.
- [5]. Zhu, X., et al. (2016). Metallic Nickel Hydroxide Nanosheets Give Superior Electrocatalytic Oxidation of Urea for Fuel Cells, *Angewandte Chemie International Edition*, Vol. 55, no. 40, pp. 12465-12469.
- [6]. Feng, Y., et al. (2018). Construction of hierarchical FeP/Ni<sub>2</sub>P hollow nanospindles for efficient oxygen evolution, *Journal of Materials Chemistry A*, Vol. 6, no. 29, pp. 14103-14111.
- [7]. Gao, X., et al. (2016). Hierarchical NiCo<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Hollow Microcuboids as Bifunctional Electrocatalysts for Overall Water-Splitting, *Angewandte Chemie International Edition*, Vol. 55, no. 21, pp. 6290-6294.

- [8]. Hu, E., et al. (2018). Construction of hierarchical Ni–Co–P hollow nanobricks with oriented nanosheets for efficient overall water splitting, *Energy & Environmental Science*, Vol. 11, no. 4, pp. 872-880.
- [9]. Seitz, L.C., et al. (2016). A highly active and stable IrO<sub>x</sub>/SrIrO<sub>3</sub> catalyst for the oxygen evolution reaction, *Science*, Vol. 353, no. 6303, pp. 1011-1014.
- [10]. Zhu, Y.P., et al. (2017). Self-Templating Synthesis of Hollow Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Microtube Arrays for Highly Efficient Water Electrolysis, *Angewandte Chemie International Edition*, Vol. 56, no. 5, pp. 1324-1328.
- [11]. Take, T., K. Tsurutani, and M. Umeda (2007). Hydrogen production by methanol–water solution electrolysis, *Journal of Power Sources*, Vol. 164, no. 1, pp. 9-16.
- [12]. Chen, Y.X., et al. (2014). Nanotechnology makes biomass electrolysis more energy efficient than water electrolysis, *Nature Communications*, Vol. 5, no. 1, pp. 4036.
- [13]. Chen, S., et al. (2016). Size Fractionation of Two-Dimensional Sub-Nanometer Thin Manganese Dioxide Crystals towards Superior Urea Electrocatalytic Conversion, *Angewandte Chemie International Edition*, Vol. 55, no. 11, pp. 3804-3808.
- [14]. Xiao, Z., et al. (2023). Energy-saving hydrogen production by water splitting coupling urea decomposition and oxidation reactions, *Journal of Materials Chemistry A*, Vol. 11, no. 1, pp. 259-267.
- [15]. Browne, M.P., Z. Sofer, and M. Pumera (2019). Layered and two dimensional metal oxides for electrochemical energy conversion, *Energy & Environmental Science*, Vol. 12, no. 1, pp. 41-58.
- [16]. Seh, Z.W., et al. (2017). Combining theory and experiment in electrocatalysis: Insights into materials design, *Science*, Vol. 355, no. 6321, pp. eaad4998.
- [17]. Ke, K., et al. (2018). Recent advances in the electro-oxidation of urea for direct urea fuel cell and urea electrolysis, *Electrocatalysis*, pp. 41-78.
- [18]. Zhu, B., Z. Liang, and R. Zou (2020). Designing Advanced Catalysts for Energy Conversion Based on Urea Oxidation Reaction, *Small*, Vol. 16, no. 7, pp. 1906133.
- [19]. Reddy, M.N., Y.C. Sekhar, and L.S. Sarma (2025). Ni(OH)<sub>2</sub>/CeO<sub>2</sub> heterointerface catalysts for energy-efficient urea electrooxidation, *New Journal of Chemistry*.
- [20]. Shang, J., et al. (2025). CeO<sub>2</sub>-enhanced surface reconstruction of Ni<sub>3</sub>S<sub>2</sub> nanosheets for improved urea-assisted water splitting performance, *Sustainable Energy & Fuels*, Vol. 9, no. 5, pp. 1183-1195.
- [21]. Li, Q., et al. (2025). Urea oxidation catalysts: a review on non-metallic enhancements in nickel-based electrocatalysts, *Materials Horizons*.
- [22]. Zhang, S., et al. (2014). Uniform Ni/SiO<sub>2</sub>@Au magnetic hollow microspheres: rational design and excellent catalytic performance in 4-nitrophenol reduction, *Nanoscale*, Vol. 6, no. 12, pp. 7025-7032.
- [23]. Xu, Y., et al. (2021). Integrating electrocatalytic hydrogen generation with selective oxidation of glycerol to formate over bifunctional nitrogen-doped carbon coated nickel-molybdenum-nitrogen nanowire arrays, *Applied Catalysis B: Environmental*, Vol. 298, pp. 120493.

- [24]. Yu, X., et al. (2025). Utilization of Stable and Efficient High-Entropy (NiO.2ZnO.2MgO.2CuO.2CoO.2)Al<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Catalyst with Polyvalent Transition Metals to Boost Peroxymonosulfate Activation toward Pollutant Degradation, *Small*, Vol. 21, no. 9, pp. 2410819.
- [25]. Braun, M., et al. (2023). Cobalt nickel boride as electrocatalyst for the oxidation of alcohols in alkaline media, *Journal of Physics: Energy*, Vol. 5, no. 2, pp. 024005.
- [26]. Fan, L., et al. (2022). High Entropy Alloy Electrocatalytic Electrode toward Alkaline Glycerol Valorization Coupling with Acidic Hydrogen Production, *Journal of the American Chemical Society*, Vol. 144, no. 16, pp. 7224-7235.
- [27]. Ke, Z., et al. (2021). Solar-assisted co-electrolysis of glycerol and water for concurrent production of formic acid and hydrogen, *Journal of Materials Chemistry A*, Vol. 9, no. 35, pp. 19975-19983.
- [28]. Wang, X., et al. (2018), Hierarchical coral-like NiMoS nano hybrids as highly efficient bifunctional electrocatalysts for overall urea electrolysis, *Nano Research*, Vol. 11, no. 2, pp. 988-996.

## **CERIUM-BASED NICKEL FOAM AS AN EFFICIENT ELECTROCATALYST FOR UREA OXIDATION**

**Nguyen Cong Hong Nhat<sup>1</sup>, Nguyen Thi Hong Hanh<sup>1</sup>, Le Lam Son<sup>1</sup>,  
Nguyen Thi Thanh Huyen<sup>2</sup>, Cao Thanh Loc<sup>2</sup>,  
Tran Thanh Thien<sup>2</sup>, Le Trung Hieu<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup>Faculty of Chemistry, University of Sciences, Hue University

<sup>2</sup>Duy Tan University

\*Email: lthieu@hueuni.edu.vn

### **ABSTRACT**

The urea oxidation reaction (UOR), coupled with hydrogen production, is regarded as an efficient electrochemical approach that enables the treatment of urea-based pollutants while simultaneously reducing the energy consumption of electrolysis systems. In this study, a cerium-based catalyst supported on nickel foam (Ce@NF) was synthesized via a simple hydrothermal method, forming an electrode with a stable structure and a highly active surface. Electrochemical measurements demonstrate that the Ce@NF electrode exhibits superior catalytic activity toward the UOR, achieving a low potential of only 1.41V (vs. RHE) at a current density of 10 mA·cm<sup>-2</sup>. This enhanced performance is attributed to the uniform distribution of cerium oxide phases on the nickel foam substrate, which facilitates charge transfer and improves the reaction kinetics. These results indicate that Ce@NF is a promising candidate for practical applications in urea-containing wastewater treatment and the development of clean electrochemical energy technologies.

**Keywords:** Cerium, electrochemical catalyst, hydrogen, nickel foam, urea.