Vietnam Journal of Catalysis and Adsorption
Tạp chí xúc tác và hấp phụ Việt Nam

https://jca.edu.vn

Tổng hợp vật liệu xúc tác hai chức năng nanosheet Ni-Co bằng phương pháp thủy nhiệt một bước cho quá trình điện phân nước kiềm

A Simple One-Step Hydrothermal Synthesis of Ni-Co Nanosheets as a Bifunctional Electrocatalyst for Alkaline Water Electrolysis

Nguyễn Sơn Thủy[1], Lê Thị Ánh[1], Hoàng Thị Bích Thủy[1,*]

[1] *Khoa Kỹ thuật Hóa học, Trường Hóa và Khoa học Sự sống, Đại học Bách Khoa Hà Nội, số 1 Đại Cồ Việt, Hà Nội, Việt Nam*
** Email: thuy.hoangthibich1@hust.edu.vn*

ARTICLE INFO

Received: 16/02/2026
Accepted: 30/03/2026
Published: 30/03/2026

Keywords:
water electrolysis;
HER; OER;
bifunctional electrocatalyst;
NiCo

ABSTRACT

Developing efficient electrocatalysts for both the Oxygen Evolution Reaction (OER) and Hydrogen Evolution Reaction (HER) in alkaline media remains a significant challenge due to sluggish kinetics. In this study, a bifunctional Ni–Co nanosheet electrocatalyst was successfully synthesized on nickel foam via a simple one-step hydrothermal method. The results demonstrate that the Ni_8Co_2 sample exhibits superior catalytic activity, achieving low overpotentials of η_{100} = 360 mV for OER and η_{10} = 224 mV for HER. The synergistic effect between Ni and Co, combined with the open nanosheet structure, significantly enhances charge transfer and optimizes the adsorption energy of reaction intermediates. This work provides a cost-effective and scalable approach to fabricate high-performance binder-free electrodes for large-scale alkaline water electrolysis.

Giới thiệu chung

Sự phát triển của nền kinh tế hydro đặt ra nhu cầu cấp thiết về nguồn hydro xanh, trong đó điện phân nước được xem là công nghệ cốt lõi nhằm thay thế nhiên liệu hóa thạch đang ngày càng cạn kiệt. Hydro xanh là hydro được sản xuất bằng quá trình điện phân nước sử dụng toàn bộ điện từ nguồn năng lượng tái tạo. Quá trình này bao gồm hai bán phản ứng phân tách các phân tử nước thành hydro (HER) và ôxy (OER) bằng năng lượng điện. Tuy nhiên, lượng bọt khí lớn bám trên điện cực có thể cản trở quá trình chuyển khối và giảm độ dẫn ion, làm ảnh hưởng tới hiệu suất tổng thể của quá trình điện phân nước. Đồng thời, OER được xem là bước hạn chế tốc độ do phải chuyển bốn electron qua nhiều bước trung gian, trong khi sản phẩm O_2 lại ít giá trị công nghiệp [1].

Hiện nay, các xúc tác dựa trên kim loại quý, như các hợp chất Ir/Ru cho OER và Pt cho HER, vẫn được xem là những chất xúc tác triển vọng cho quá trình điện phân nước [2]. Tuy nhiên, việc sử dụng các kim loại này gặp hạn chế do chi phí cao và khan hiếm, do đó việc phát triển các xúc tác thay thế từ kim loại rẻ tiền hơn là cần thiết. Trong bối cảnh đó, điện phân kiềm được xem là hướng tiếp cận phù hợp do cho phép sử dụng chất xúc tác kim loại không quý, có độ bền cao và chi phí thấp hơn so với hệ điện phân axit [3].

Gần đây, các chất xúc tác điện hóa dựa trên kim loại chuyển tiếp đã thu hút sự chú ý rộng rãi, trong đó các nhà khoa học quan tâm đến các chất xúc tác dựa trên

©2026 by the authors. Licensee Vietnam Journal of Catalysis and Adsorption. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

https://doi.org/10.62239/jca.2026.013

Ni và Co do có hoạt tính điện hóa cao, thân thiện với môi trường, dễ kiếm, chi phí thấp và có khả năng tồn tại ở nhiều trạng thái oxy hóa [4].

Bài báo này trình bày nghiên cứu hoạt tính xúc tác của vật liệu trên cơ sở Ni-Co trên nền bọt nickel, được tổng hợp bằng quy trình thủy nhiệt một bước đơn giản. Mục tiêu của nghiên cứu là tìm kiếm vật liệu xúc tác hai chức năng có hiệu quả cao cho cả hai phản ứng HER và OER để thay thế cho kim loại quý, và qua đó làm đơn giản hóa thiết kế tổng thể của thiết bị điện phân nước kiềm. Các phép đo điện hóa và phân tích cấu trúc vật liệu đã được thực hiện để xác định đặc tính xúc tác của vật liệu tổng hợp.

Thực nghiệm và phương pháp nghiên cứu

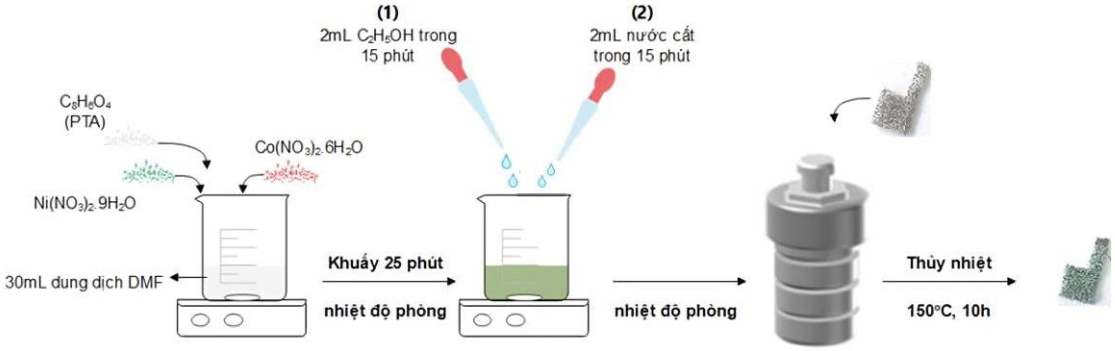
Hóa chất

Trong nghiên cứu sử dụng hóa chất có độ tinh khiết phân tích bao gồm: nickel foam (NF), nickel (II) nitrate hexahydrate ≥98,0% ($Ni(NO_3)_2.6H_2O$), cobalt (II) nitrate hexahydrate ≥99,0% ($Co(NO_3)_2.6H_2O$), iron (III) nitrate nonahydrate ≥98,3% ($Fe(NO_3)_3.9H_2O$), potassium hydroxide ≥85,0% (KOH), dimethylformaminde (DMF) ≥99,5% ($HCON(CH_3)_2$), terephthalic acid (TPA) 99% ($C_6H_4(COOH)_2$), ethanol 99,5% (C_2H_5OH).

Tổng hợp vật liệu

Vật liệu được tổng hợp từ muối $Ni(NO_3)_2.6H_2O$ và $Co(NO_3)_2.6H_2O$ với tổng lượng mol không đổi 2,2 mmol, theo tỉ lệ xác định trong TPA, DMF, ethanol và nước. Quy trình tổng hợp được mô tả trên Hình 1. Các mẫu xúc tác tổng hợp được ký hiệu là $Ni_{10}Co_0$, $Ni_{9,5}Co_{0,5}$, Ni_9Co_1, $Ni_{8,5}Co_{1,5}$ và Ni_8Co_2 tương ứng với tỉ lệ thành phần mol của Ni:Co lần lượt là 10:0; 9,5:0,5; 9:1; 8,5:1,5 và 8:2. Sau thủy nhiệt, vật liệu tạo thành trên NF được dùng đo điện hóa và SEM, còn phần bột trong dung dịch được được rửa và sấy để đo XRD.

Diện tích làm việc của điện cực dùng đo điện hóa là 0,5 cm^2. Lượng vật liệu xúc tác bám trên NF của các mẫu là 60 (± 1) mg/cm^2, được xác định bằng phương pháp cân trên cân phân tích 4 số lẻ.



Hình 1. Quy trình tổng hợp vật liệu điện cực

Phương pháp đo đặc tính điện hóa

Trong nghiên cứu này sử dụng hệ ba điện cực, với điện cực đối Platin và điện cực so sánh Ag/AgCl trong KCl bão hòa được kết nối máy đo Autolab. Các phép đo được thực hiện cụ thể như sau:

- Phương pháp quét thế tuyến tính (LSV) để xác định quá thế và hệ số Tafel, trong đó đường cong phân cực anốt được quét từ điện thế mạch hở về phía dương và đường cong phân cực catốt được quét từ điện thế mạch hở về phía âm.

- Phương pháp quét thế vòng tuần hoàn (CV) để xác định điện dung lớp kép (C_{dl}) vùng non-faradaic và tính toán diện tích hoạt động điện hóa (ECSA) như sau (với C_s = 40 µF.cm^{-2}):

$$ECSA = \frac{C_{dl}}{C_s} (cm^2)$$

Tất cả các điện thế đều được chuyển đổi so với điện cực hydro thuận nghịch (RHE) và được tính theo phương trình Nernst trong môi trường kiềm (KOH 1M):

$$E_{RHE}^{i} = E_{Ag/Ag/Cl}^{i} + 0,197 + 0,059pH \text{ (V vs. RHE)}$$

Phương pháp phân tích cấu trúc

Mẫu vật liệu sau khi thủy nhiệt được quan sát bề mặt bằng kính hiển vi điện tử quét (SEM) HITACHI S-4800 và phân tích bằng máy đo nhiễu xạ tia X (XRD) X'Pert pro Panalytical.

https://doi.org/10.62239/jca.2026.013

Kết quả và thảo luận

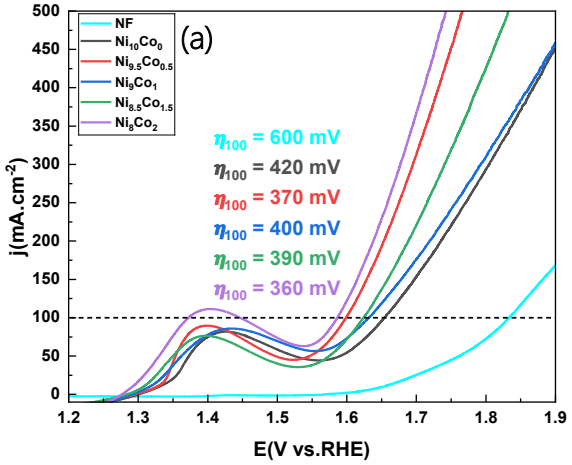
Đặc tính điện hóa

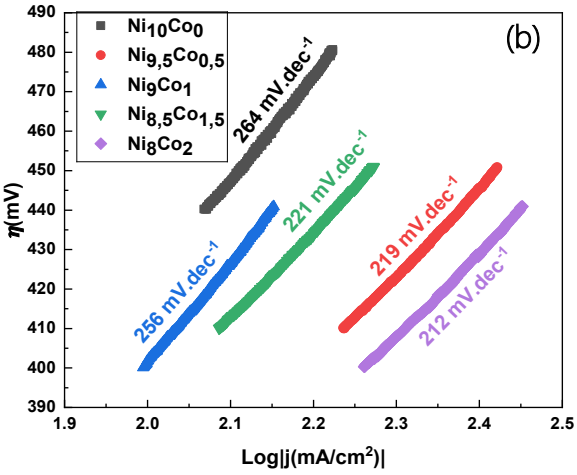
Phản ứng thoát ôxy (OER)

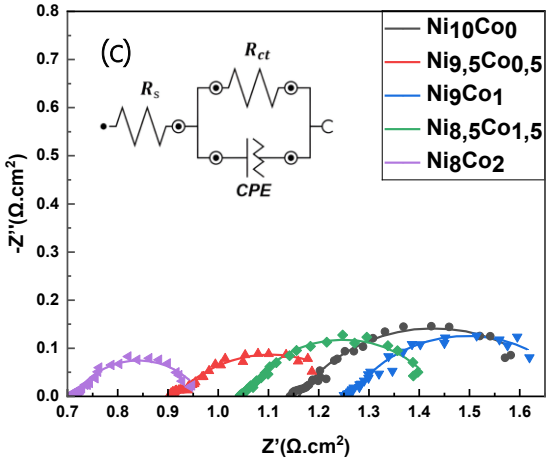
Trong môi trường kiềm, phản ứng OER tại anốt diễn ra theo cơ chế bốn electron:

$$4OH^- \rightarrow O_2 + 2H_2O + 4e^-$$

Để thực hiện phản ứng này, bề mặt xúc tác phải trải qua chu trình hấp phụ và chuyển hóa các chất trung gian M–OH → M–O → M–OOH → O_2 (M = Ni/Co). Sự hình thành và chuyển hóa các chất trung gian OH^*, O^* và OOH^* chính là chuỗi các trạng thái ôxy hóa của tâm kim loại, và trong đó bước tạo liên kết O–O (M–OOH → O_2) thường được xem là bước quyết định tốc độ. Đối với hệ Ni-Co, việc điều chỉnh Co với hàm lượng thích hợp có thể làm tăng mật độ trạng thái gần mức Fermi, đưa các orbital d tiến gần mức Fermi hơn. Sự dịch chuyển tâm d-band này giúp tăng tương tác giữa bề mặt xúc tác và các trung gian chứa ôxy, đồng thời điều chỉnh độ bền liên kết theo hướng thuận lợi cho phản ứng OER. Từ đó nâng cao mật độ mang điện và giảm năng lượng hấp phụ các trung gian phản ứng. Đồng thời, sự phân bố điện tích không đồng đều hình thành sau khi pha tạp Co cho thấy vị trí Co trở thành tâm thiếu electron, thuận lợi cho quá trình hấp phụ OH^- và kích hoạt các bước OER tiếp theo [5, 6]. Điều này phù hợp với kết quả thực nghiệm của chúng tôi, khi sự có mặt của Co giúp giảm đáng kể quá thế của quá trình thoát ôxy (OER).







(d)

Tên mẫu	R_s ($\Omega.cm^2$)	R_{ct} ($m\Omega.cm^2$)	CPE ($mMho.s^n$)
$Ni_{10}Co_0$	1,06	540	$459.s^{0,61}$
$Ni_{9,5}Co_{0,5}$	0,95	332	$412.s^{0,69}$
Ni_9Co_1	1,27	462,5	$587.s^{0,63}$
$Ni_{8,5}Co_{1,5}$	1,05	391,5	$783.s^{0,69}$
Ni_8Co_2	0,72	255	$440.s^{0,67}$

Hình 2. Đặc tính điện hóa của các mẫu vật liệu đối với phản ứng thoát ôxy trong KOH 1M. a) Đường cong phân cực anốt (OER); b) Đồ thị Tafel tương ứng của các mẫu; c) Phổ Nyquist của OER trên các mẫu tại 1,723V (vs RHE); d) Các thông số của mạch tương đương tính từ phổ Nyquist.

Trên Hình 2 trình bày đặc tính điện hóa của các mẫu vật liệu tổng hợp được đối với phản ứng thoát oxy. Khi kết tủa nickel lên nền NF, hoạt tính xúc tác được cải thiện so với mẫu NF ($Ni_{10}Co_0$ có η_{100} = 420 mV, so với NF có η_{100} = 600 mV), chứng tỏ vai trò của pha Ni trong việc xúc tiến quá trình trao đổi electron và hình thành các tâm hoạt động. Hơn nữa sự xuất hiện đồng thời của nguyên tố cobalt tạo thành hệ hai nguyên đã

https://doi.org/10.62239/jca.2026.013

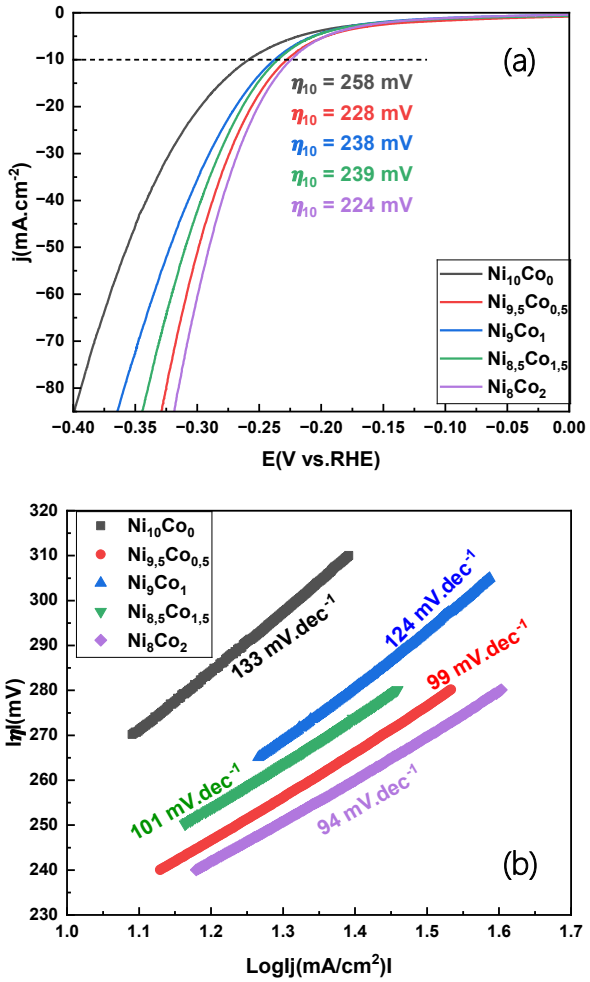
cho hoạt tính xúc tác tốt hơn khi hàm lượng cobalt tăng. Mẫu Ni_8Co_2 thể hiện quá thế thấp nhất, chỉ 360mV tại mật độ dòng 100 $mA.cm^{-2}$ cho thấy hoạt tính xúc tác OER được cải thiện đáng kể. Đáng chú ý, qua đường cong phân cực anốt, có thể nhận thấy rõ sự xuất hiện của peak ôxy hóa nằm trong vùng thế khoảng 1,35–1,55 V (so với RHE), phản ánh bề mặt vật liệu chuyển hóa từ pha hydroxit thành pha oxyhydroxit, đây được coi là tâm hoạt động thực sự của OER [7]. Các nghiên cứu trước đây chỉ ra rằng NiOOH và CoOOH không hoạt động độc lập, mà hoạt tính OER được tăng cường là nhờ hiệu ứng hiệp đồng giữa hai pha oxyhydroxit này [8]. Đây là quá trình then chốt vì MOOH được xem là các tâm xúc tác đóng vai trò quan trọng trong thúc đẩy phản ứng thoát ôxy và dấu hiệu trực tiếp cho thấy cường độ peak mạnh hơn ở mẫu Ni_8Co_2 chứng minh sự tạo ra các oxyhydroxit hoạt tính diễn ra mạnh mẽ hơn so với các mẫu khác. Đồng thời, độ dốc Tafel tương ứng của Ni_8Co_2 là 212 $mV.dec^{-1}$ nhỏ nhất trong các mẫu khảo sát, thể hiện động học thuận lợi hơn cho quá trình thoát ôxy (Hình 2b). Phổ tổng trở điện hóa được thể hiện trong Hình 2c và được phân tích sử dụng mạch tương đương gồm điện trở dung dịch (R_s), điện trở chuyển điện tích (R_{ct}) và phần tử pha không đổi (CPE).

Hình 2c cho thấy cung bán nguyệt của phổ Nyquist mẫu Ni_8Co_2 là nhỏ nhất, tương ứng với điện trở chuyển điện tích (R_{ct}) thấp hơn các mẫu khác. Cụ thể, giá trị R_{ct} giảm từ 540 $m\Omega.cm^2$ đối với mẫu $Ni_{10}Co_0$ xuống còn 255 $m\Omega.cm^2$ đối với mẫu Ni_8Co_2, cho thấy sự kết hợp giữa Ni và Co đã làm giảm năng lượng cho quá trình trao đổi electron và tăng khả năng dẫn điện của điện cực, chứng tỏ tốc độ trao đổi điện tích giữa điện cực và chất điện ly được tăng cường.

Ngoài ra, điện trở dung dịch (Rs) của các mẫu có sự thay đổi rất nhỏ, chủ yếu là do sự tích tụ tạm thời của bọt ôxy trên bề mặt điện cực làm gián đoạn nhẹ đường dẫn ion. Như vậy, các thông số điện hóa cho thấy Ni_8Co_2 thể hiện hoạt tính xúc tác tối ưu nhất, giúp thúc đẩy quá trình hình thành các bước trung gian và thoát ôxy được hiệu quả hơn.

Phản ứng thoát hydro (HER)

Đặc tính điện hóa của các mẫu vật liệu đối với phản ứng thoát hydro được đánh giá tiếp theo nhằm kiểm chứng khả năng hai chức năng của vật liệu, từ đó xác định tiềm năng ứng dụng chung trên cả hai điện cực trong quá trình điện phân nước. Hình 3 minh họa hoạt tính xúc tác của vật liệu đối với phản ứng thoát hydro (HER).



Hình 3. Đặc tính điện hóa của các mẫu vật liệu đối với phản ứng thoát hydro trong KOH 1M.
a) Đường cong phân cực catot cho HER; b) Đồ thị Tafel tương ứng của các mẫu được trích số liệu từ Hình a.

Từ Hình 3a cho thấy sự xuất hiện của nguyên tố Co tạo thành hệ hai nguyên đã ảnh hưởng đến hoạt tính xúc tác của vật liệu đối với phản ứng thoát hydro trong KOH 1M, hoạt tính xúc tác được cải thiện rõ rệt khi hàm lượng Co tăng. Quá thế catốt cho HER tại mật độ dòng 10 mA cm^{-2} giảm rõ rệt khi có mặt Co trong vật liệu, cho thấy cần ít năng lượng hơn để thúc đẩy phản ứng. Đặc biệt, mẫu Ni_8Co_2 thể hiện giá trị quá thế thấp nhất trong dãy khảo sát (224 mV), chứng tỏ hiệu ứng hiệp đồng mạnh mẽ giữa Ni và Co đã làm tăng khả năng hấp phụ–giải hấp hydro. Cơ chế của HER trong môi trường kiềm trải qua 3 bước như sau: Đầu tiên, H_2O được hấp phụ lên bề mặt điện cực, gọi là bước Volmer ($2H_2O + 2e^- \rightarrow 2H^* + 2OH^-$). Tiếp theo quá trình giải hấp được chia thành hai bước phụ thuộc vào mật độ H^* của bước nào chiếm ưu thế. Đó là các bước Tafel ($2H^* \rightarrow H_2$) và bước Heyrovsky ($H_2O + H^* + e^- \rightarrow H_2 + OH^-$) tương ứng với hai cơ chế của HER: cơ chế

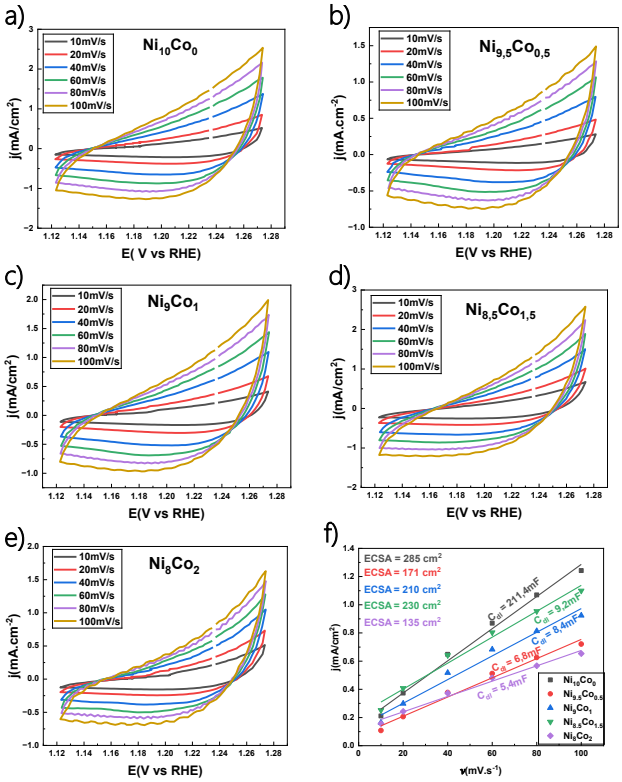
https://doi.org/10.62239/jca.2026.013

Volmer–Heyrovsky và cơ chế Volmer–Tafel. Độ dốc Tafel là một chỉ số quan trọng để đánh giá động học của phản ứng, khi độ dốc Tafel khoảng khoảng 120 $mV.dec^{-1}$ thì bước quyết định tốc độ là bước Volmer (tách nước tạo H^*), trong khi giá trị nhỏ hơn (khoảng 30 đến 40 $mV.dec^{-1}$) thường thuộc về cơ chế Heyrovsky hoặc Tafel [9]. Đồ thị độ dốc Tafel được trình bày trong Hình 3b cho thấy độ dốc giảm từ 133 $mV.dec^{-1}$ ($Ni_{10}Co_0$) xuống còn 94 $mV.dec^{-1}$ (Ni_8Co_2), phản ánh động học HER nhanh hơn và cho thấy bước Volmer vẫn là bước hạn chế tốc độ. Sự phối hợp giữa Ni và Co có thể điều chỉnh cấu trúc điện tử, tối ưu năng lượng hấp phụ trung gian H^* và thúc đẩy quá trình tách nước, từ đó cải thiện động học của bước Volmer. Những kết quả thu được cho thấy vật liệu xúc tác Ni_8Co_2 thể hiện hoạt tính tốt nhất cho HER, đồng thời là nền tảng cho hoạt tính hai chức năng trong điện phân nước môi trường kiềm.

Diện tích hoạt động điện hóa (ECSA)

Điện dung lớp kép (C_{dl}) và diện tích bề mặt điện hóa (ECSA) được tính toán từ các đường cong phân cực trong vùng non-faradaic ở các tốc độ quét thế từ 10 đến 100 $mV.s^{-1}$ (Hình 4). Trong số các mẫu nghiên cứu, mẫu Ni_8Co_2 có giá trị điện dung lớp kép và diện tích hoạt động điện hóa nhỏ nhất (5,4 mF và 135 cm^2). Hoạt tính xúc tác của kim loại chuyển tiếp phụ thuộc vào cấu trúc điện tử, trong đó vị trí của tâm d-band đóng vai trò quan trọng. Khi tâm d-band nằm gần mức Fermi, sự chồng chéo giữa quỹ đạo d của kim loại và các chất trung gian hấp phụ tăng lên, từ đó tăng cường tương tác hấp phụ và cải thiện hoạt tính xúc tác. Việc kết hợp nguyên tố kim loại tạo thành hệ hai nguyên có thể làm thay đổi cấu trúc điện tử và năng lượng d-band của vật liệu, giúp quá trình hấp phụ và giải hấp trung gian H_{ads} (đối với HER) hoặc OH^*, OOH^* và O^* (đối với OER) diễn ra thuận lợi hơn. Nhờ đó, mỗi vị trí hoạt động trở nên hiệu quả hơn, dù diện tích hoạt động điện hóa (biểu hiện qua ECSA) không lớn.

Tổng hợp các kết quả cho thấy, ban đầu, khi tăng nồng độ cobalt (từ $Ni_{10}Co_0$ lên $Ni_{9,5}Co_{0,5}$), hoạt tính xúc tác được cải thiện đáng kể do cobalt có khả năng điều chỉnh cấu trúc điện tử của nickel, giúp giảm năng lượng hấp phụ trung gian phản ứng và tăng khả năng dẫn truyền điện tích, từ đó thúc đẩy quá trình HER/OER diễn ra thuận lợi hơn. Tuy nhiên, khi tiếp tục tăng nồng độ cobalt vượt quá giới hạn tối ưu, hoạt tính xúc tác lại giảm, có thể do sự thay đổi hình thái bề mặt, sự kết tụ hạt hoặc sự che khuất các tâm hoạt động nickel, làm giảm diện tích hoạt động điện hóa hiệu quả. Mặc dù ECSA là một thông số quan trọng nhưng không phản ánh hoạt động nội tại của chất xúc tác. Hoạt động nội tại của chất xúc tác, bao gồm khả năng chuyển electron và hấp phụ chất phản ứng và giải hấp khỏi bề mặt điện cực, đóng vai trò quyết định trong việc thúc đẩy phản ứng. Ở nồng độ cobalt cao hơn nữa, hoạt tính lại có xu hướng tăng trở lại, được cho là nhờ hình thành các cấu trúc dị thể Ni–Co bền vững và xuất hiện hiệu ứng hiệp đồng mạnh giữa hai kim loại, giúp tối ưu quá trình hấp phụ và giải hấp trung gian phản ứng [5,6]. Mẫu Ni_8Co_2 thể hiện quá thế thấp nhất, và độ dốc Tafel nhỏ nhất, chứng tỏ động học phản ứng được cải thiện tốt nhất trên vật liệu xúc tác này nhờ hiệu ứng hiệp đồng giữa nickel và cobalt, giúp tăng mật độ vị trí hoạt động, cải thiện khả năng vận chuyển điện tích và tối ưu hóa động học phản ứng HER và OER.



Hình 4. Đường cong CV vùng non Faradaic của các mẫu $Ni_{10}Co_0$ (a), $Ni_{9,5}Co_{0,5}$ (b), Ni_9Co_1 (c), $Ni_{8,5}Co_{1,5}$ (d), Ni_8Co_2 (e) và Kết quả xác định điện dung lớp kép (C_{dl}) và diện tích hoạt động điện hóa (ECSA) (f).

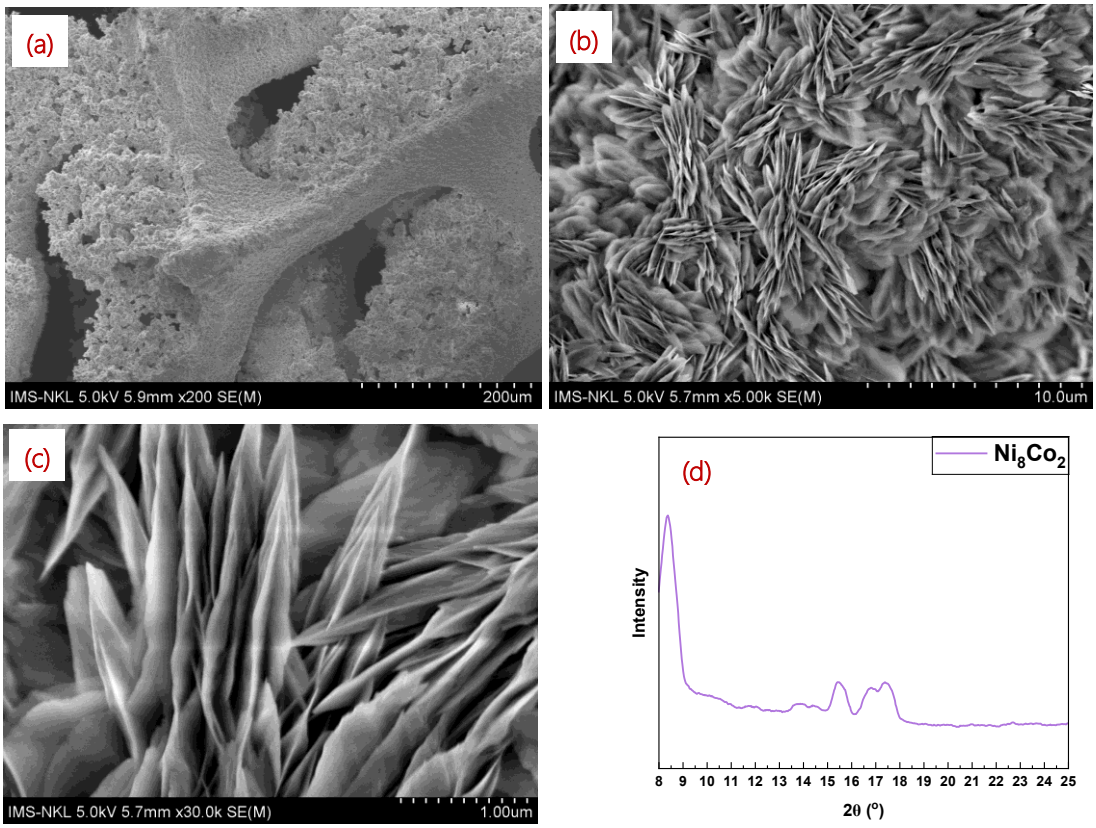
Hình thái cấu trúc của vật liệu xúc tác

Dựa trên kết quả đánh giá điện hóa, mẫu Ni_8Co_2 cho thấy quá thế, độ dốc Tafel và điện trở chuyển điện tích thấp nhất chứng tỏ động học phản ứng được cải thiện nhất cho cả HER và OER. Do đó, các phân tích đặc trưng như XRD và SEM tập trung vào mẫu Ni_8Co_2

https://doi.org/10.62239/jca.2026.013

nhằm làm rõ nguyên nhân cấu trúc – hình thái dẫn đến hoạt tính được cải thiện. Hình 5a, b, c cho thấy vật liệu Ni_8Co_2 có cấu trúc dạng các tấm nanosheet được phát triển đồng đều trên bề mặt NF sau quá trình thủy nhiệt, tạo thành một cấu trúc mạng ổn định với một số lượng lớn không gian mở. Cấu trúc đặc biệt này thúc đẩy quá trình truyền điện tích và vận chuyển electron một cách nhanh chóng, hiệu quả, do rút ngắn khoảng cách chuyển khối [10]. Phân tích XRD mẫu Ni_8Co_2 dạng bột (Hình 5d) cho thấy các đỉnh ở 2θ là 8,9°, 14,9°, 15,7°, 16,9°, 17,83° đều tương ứng với các mặt tinh thể của Ni–MOF và Co–MOF (CCDC số 985792). Qua đây cho thấy đã tổng hợp thành công vật liệu Ni_8Co_2 không có tạp chất [11, 12].

Bảng 1 so sánh tính chất của vật liệu tổng hợp được với các vật liệu tương tự đã công bố về hoạt tính xúc tác đối với phản ứng OER và HER. Qua đây cho thấy rõ vật liệu xúc tác Ni_8Co_2 đã thể hiện hoạt tính xúc tác vượt trội cho cả hai phản ứng OER và HER trong môi trường KOH 1M, trong khi được tổng hợp bằng phương pháp thủy nhiệt một bước đơn giản hơn.



Hình 5. Ảnh SEM của mẫu Ni_8Co_2 với các độ phóng đại khác nhau (a, b, c) và giản đồ XRD của mẫu Ni_8Co_2 (d)

Bảng 1. So sánh tính chất của vật liệu tổng hợp với các vật liệu tương tự đã công bố

	Tên mẫu	Phương pháp	η_{100} mV	β mV.dec^{-1}	Tài liệu
OER	Ni_8Co_2	Thủy nhiệt	360	212	Bài báo này
	NiCo MOFs/NF@-Ar	Nhiệt dung môi kết hợp xử lý plasma Ar	540	480	[11]
	$NiCo_2O_4$@$NiCo_2O_4$	Thủy nhiệt và nung	400	163	[13]
	Tên mẫu	**Phương pháp**	η_{10} mV	β mV.dec^{-1}	**Tài liệu**
HER	Ni_8Co_2	Thủy nhiệt	224	94	Bài báo này
	Ni/Co/1:4	Mạ điện	101,92	164,65	[14]
	$L1_0$-NiCo	Phản ứng rắn được hỗ trợ bởi môi trường	262	97	[15]

https://doi.org/10.62239/jca.2026.013

Kết luận

Vật liệu nanosheet Ni–Co đã được tổng hợp thành công trên nền bọt nickel thông qua quy trình thủy nhiệt một bước đơn giản. Vật liệu Ni_8Co_2 đã thể hiện hoạt tính xúc tác vượt trội cho cả hai phản ứng OER và HER trong môi trường KOH 1M. Điều đó là do hiệu ứng hiệp đồng giữa hai pha oxyhydroxit của nickel và cobalt, cùng với hình thái nanosheet đã giúp cung cấp dồi dào các vị trí hoạt động và thúc đẩy quá trình giải phóng các bọt khí. Với quy trình tổng hợp đơn giản, chi phí thấp, vật liệu này có tiềm năng thay thế các xúc tác kim loại quý trong điện phân nước kiềm ở quy mô công nghiệp.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Đại học Bách khoa Hà Nội (HUST) trong đề tài mã số T2024-XS-001.

Tài liệu tham khảo

1. W. Li, H. Tian, L. Ma, Y. Wang, X. Liu, X. Gao, Mater. Adv., 3(14) (2022) 5598-5644. https://doi.org/10.1039/D2MA00185C
2. M. Jamesh, D. Hu, J. Wang, F. Naz, J. Feng, L. Yu, Z. Cai, J.C. Colmenares, D.J. Lee, P.K. Chu, H.Y. Hsu, J. Mater. Chem. A, 12(21) (2024) 11771-11820. https://doi.org/10.1039/D3TA07418H
3. J. Li, Z. Jing, H. Bai, Z. Chen, A.I. Osman, M. Farghali, D.W. Rooney, P.S. Yap, Environ. Chem. Lett., 21(5) (2023) 2583-2617. https://doi.org/10.1007/s10311-023-01616-z
4. S. Lee, Y. Shin, K. Yeom, J. Shim, Y.E. Sung, Adv. Ind. Eng. Chem., 1 (2025) 2. https://doi.org/10.1007/s44405-025-00001-4
5. Y.C. Zhang, C. Han, J. Gao, L. Pan, J. Wu, X.D. Zhu, J.J. Zou, ACS Catal., 11(20) (2021) 12485-12509. https://doi.org/10.1021/acscatal.1c03260
6. Z. Xiao, W. Zhou, B. Yang, C. Liao, Q. Kang, G. Chen, M. Liu, X. Liu, R. Ma, N. Zhang, Nano Mater. Sci., 5(3) (2023) 228-236. https://doi.org/10.1016/j.nanoms.2022.07.002
7. T. Mikolajczyk, B. Pierozynski, L. Smoczynski, W. Wiczkowski, Molecules, 23(6) (2018) 1293. https://doi.org/10.3390/molecules23061293
8. L.N. Zhou, L. Yu, C. Liu, Y.J. Li, RSC Adv., 10(66) (2020) 39909. https://doi.org/10.1039/D0RA07284B
9. K. Yu, J. Zhang, Y. Hu, L. Wang, X. Zhang, B. Zhao, Catalysts, 14(3) (2024) 184. https://doi.org/10.3390/catal14030184
10. S. Liu, X. Chen, Z. Wang, Y. Yu, Y. Huang, J. Zeng, Y. Lin, C. Duan, H. Xi, J. Energy Storage, 93 (2024) 112280. https://doi.org/10.1016/j.est.2024.112280
11. Y.L. Su, S.E. Yu, I.C. Ni, C.I. Wu, Y.S. Chen, Y.C. Chuang, I.C. Cheng, J.Z. Chen, J. Compos. Sci., 8(1) (2024) 19. https://doi.org/10.3390/jcs8010019
12. Y. Liu, P. Li, Z. Wang, L. Gao, Materials, 17(10) (2024) 2195. https://doi.org/10.3390/ma17102195
13. L. Zhang, H. Yuan, X. Li, Coatings, 12(9) (2022) 1240. https://doi.org/10.3390/coatings12091240
14. B. Hüner, N. Demir, M.F. Kaya, ACS Omega, 8(7) (2023) 5958-5974. https://doi.org/10.1021/acsomega.2c07856
15. C. Wu, X. Wang, M. Huang, C. Meng, L. Chang, D. Xu, W. Pei, Nanoscale, 16(30) (2024) 15148-15157. https://doi.org/10.1039/D4NR02519A