

NGHIÊN CỨU TÍNH CHẤT ĐIỆN HOÁ HỆ ĐIỆN CỰC NANO BẠC/BẠC OXIT TRONG DUNG DỊCH ĐIỆN LY KIỀM

Bùi Đức Cường*, Trần Quốc Tùy, Nguyễn Đức Hùng

Viện Hóa học - Vật liệu, Viện Khoa học và Công nghệ Quân sự

Đến Tòa soạn 25-7-2013

Abstract

The nano-structure silver electrodes were fabricated using nano-silver powder, carboxymethyl cellulose (CMC) binder and expanded silver metal current collectors. The present paper reports the fabrication, and electrochemical properties of electrodes. The electrochemical properties of the nano Ag/Ag₂O, AgO electrode for silver-zinc batteries such as the galvanostatic charge-discharge performance, cyclic voltammetry (CV) and electrochemical impedance spectroscopy (EIS) were measured. It was found that characteristic and mechanism of the charge-discharge process of silver electrode in KOH electrolyte depends on current density.

Keywords: Charge-discharge process, nano Ag/Ag₂O, AgO electrodes, electrochemical properties.

1. MỞ ĐẦU

Do có tính chất vượt trội về độ bền hóa học, thế khử cao và khả năng phóng điện với mật độ dòng lớn, điện cực bạc/bạc oxit được sử dụng rộng rãi trong công nghệ chế tạo nguồn điện hóa học. Bên cạnh việc cải tiến thiết kế công nghệ, các nghiên cứu tập trung vào đặc tính vật liệu chất hoạt động điện cực trong đó việc ứng dụng vật liệu nano bạc nhằm tạo đột phá thay đổi đặc tính điện hóa của điện cực [2-6].

Bài báo này giới thiệu kết quả nghiên cứu đặc tính điện hóa điện cực nano bạc/bạc oxit chế tạo trong dung dịch điện ly kiềm bằng phương pháp quét thế tuần hoàn (CV) và đo đường cong phóng - nạp với dòng không đổi.

2. THỰC NGHIỆM

2.1. Chế tạo điện cực nghiên cứu

+ Điện cực hệ nano bạc/bạc oxit được chế tạo từ các vật liệu:

- Bột nano bạc có kích thước 10-80 nm (được điều chế bằng phương pháp khử Ag⁺ trong môi trường kiềm) [1].

- Phụ gia carboxymethyl cellulose (CMC).

- Lưới bạc có diện tích 1 × 1 cm² đường kính dây 0,1 mm; mắt lưới 1 × 1 mm.

+ Phương pháp chế tạo: Cân một lượng nhất định bột nano bạc đem trộn với phụ gia CMC. Hỗn hợp được ép trên lưới bạc với các chế độ lực ép khác

n nhau từ 10-50 kgf/cm², sau đó đem nung ở 500 °C khoảng 30 phút.

+ Điện cực ngay sau khi chế tạo được ngâm trong cồn tuyệt đối khoảng 20 phút, sau đó sấy từ 3-5 giờ ở 85 °C rồi bảo quản trong bình hút ẩm.

2.2. Thiết bị và phương pháp nghiên cứu

Cấu trúc điện cực được đánh giá dựa trên kết quả phân tích bởi các phương pháp: Chụp ảnh FESEM bằng kính hiển vi điện tử quét độ phân giải cao S4800-Hitachi (Nhật Bản); ghi phổ nhiễu xạ tia X (XRD) trên thiết bị Bruker D5005 (Đức); phân tích nhiệt TGA trên thiết bị TGA-50H Shimadzu (Nhật Bản) và đo diện tích bề mặt trên thiết bị Autochem 2920 (Mỹ).

Tính chất điện hóa của các điện cực được đánh giá bằng phương pháp CV và phổ tổng trở trong bình ba điện cực với dung dịch điện ly là KOH 10 M ở nhiệt độ phòng, sử dụng máy AutoLab®PGS STAT30 (EcoChemie, Hà Lan). Tốc độ quét thế từ 1-100 mV/s trong khoảng thế -0,5 đến +1 V. Quá trình nạp - phóng điện bằng phương pháp tích điện dòng không đổi galvanostat và quá trình phóng điện bằng tải không đổi thực hiện trên thiết bị kiểm tra nguồn điện đặc chủng HL-07 với điện cực đối là lá kẽm mac II₀ dày 0,1±0,01 mm được dập gân để tăng diện tích bề mặt hoạt động và khả năng khuếch tán của dung dịch điện ly. Hệ nghiên cứu được khảo sát trên hệ 2 và 3 điện cực; đối với hệ 3 điện cực điện cực so sánh là điện cực SCE.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Cấu trúc, thành phần điện cực chế tạo

3.1.1. Kết quả phân tích FESEM điện cực chế tạo

Hình 1 trình bày ảnh FESEM của điện cực nano bạc chế tạo bằng phương pháp nung cho thấy kích thước hạt vật liệu hoạt hóa khá đều từ 10 đến 40 nm.

3.1.2. Kết quả phân tích XRD, bề mặt điện cực BET và phổ TGA

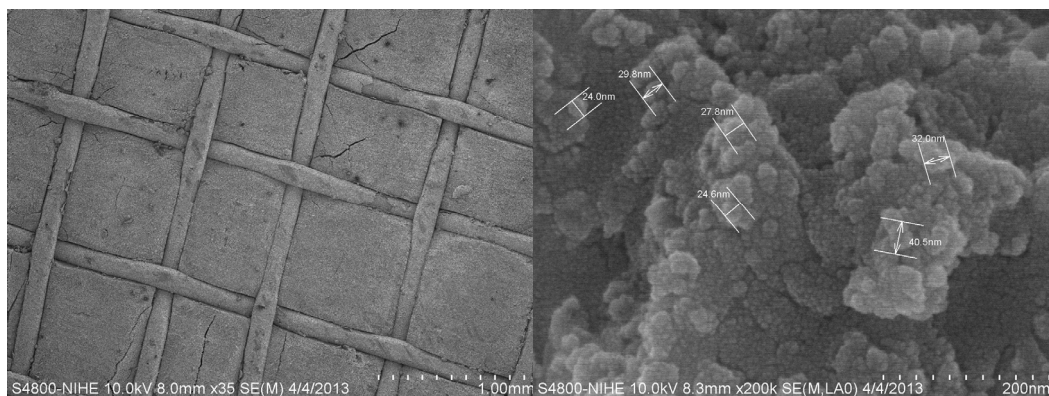
Từ kết quả thu được điện cực nano bạc sau khi nung cho thấy phổ XRD đơn pha, không xuất hiện pic lạ, vị trí các pic không bị dịch chuyển so với atlas chuẩn chứng tỏ vật liệu điện cực vẫn ở dạng cấu trúc tinh thể kiểu lập phương tâm mặt fcc.

Khảo sát diện tích bề mặt bằng phương pháp BET với bề mặt điện cực được ép với áp lực 30 kgf/cm² so với bột nano bạc. Diện tích bề mặt vật

liệu trên điện cực đạt $16,6540 \pm 0,2134$ m²/g thấp hơn so với dạng bột $24,7491 \pm 0,5775$ m²/g. Kết quả phân tích BET cho thấy khi ép điện cực diện tích bề mặt giảm đi nhiều do các hạt lên sát với nhau làm giảm độ xốp. Tuy nhiên với diện tích bề mặt điện cực chế tạo vẫn vượt xa so với hoạt chất vật liệu có kích thước μm (0,5-0,9 m²/g) [6].

Phân tích TGA 2 mẫu điện cực mới chế tạo và điện cực sau khi anot hóa. Kết quả cho thấy hiện tượng sụt giảm khối lượng ở mẫu điện cực mới chế tạo gần như không đáng kể, chỉ 1,2 % do quá trình bảo quản điện cực bị hút ẩm. Mẫu điện cực sau quá trình anot hóa xảy ra 2 quá trình chuyển khối ở 187,77 °C và 400,83 °C, chính là nhiệt độ phân hủy của AgO và Ag₂O.

Như vậy, qua các kết quả phân tích đã chứng minh rằng điện cực chế tạo có độ tinh khiết cao, không bị pha lẫn tạp chất. Điện cực có cấu trúc xốp, diện tích bề mặt lớn hơn rất nhiều so với điện cực có kích thước μm .



Hình 1: Ảnh FESEM điện cực chế tạo

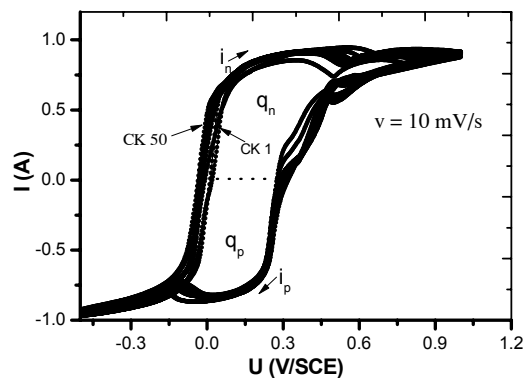
3.2. Quá trình phóng nạp theo phương pháp CV

3.2.1. Tốc độ phóng nạp theo CV

Điện cực sau khi chế tạo được hoạt hóa trong dung dịch KOH 10 M bằng phân cực vòng đa chu kỳ (CV, khoảng quét thế từ -0,5 đến +1 V/SCE, tốc độ quét từ 10 mV/s. Đường cong CV (hình 2) có hai phần rõ rệt thể hiện quá trình nạp (phân cực anot, đến +1 V) và phóng (phân cực catot đến -0,5 V). Sau mỗi chu kỳ CV dòng phóng và dòng nạp đều tăng, tốc độ tăng không lớn, và dần ổn định.

Phổ CV cho thấy quá trình điện hóa là oxi hóa khử bạc và bạc oxit, không có pic của phản ứng phụ; quá trình oxi hóa và khử có pic tăng dần theo số chu kỳ nạp-phóng, vị trí các pic khá ổn định, hầu như không thay đổi. Điều này chứng tỏ vật liệu điện cực

có độ tinh khiết cao, làm việc ổn định, phản ứng xảy ra có tính thuận nghịch.



Hình 2: Phổ CV đa chu kỳ của mẫu điện cực nano bạc/bạc oxit, tốc độ quét thế 10 mV/s

Để đánh giá khả năng phóng-nạp của điện cực, căn cứ vào kết quả quét thế và gọi v_a và v_c là tốc độ lớn nhất của quá trình phân cực anot và phân cực catot; tốc độ được tính theo công thức sau [6]:

$$v_a = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad \text{và} \quad v_c = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad (1)$$

Trong đó, Δq là biến thiên dung lượng tức thời theo thời gian; Δt là khoảng thời gian xảy ra quá trình

phân cực catot hay anot. Kết quả tính toán tốc độ phản ứng được trình bày ở bảng 1; q_n , q_{n+1} là dung lượng thực tế tức thời tại điểm đầu và điểm cuối của quá trình phân cực anot hay catot; A_2 - C_2 ; A_{10} - C_{10} biểu thị tương ứng cho quá trình anot và quá trình catot của các chu kì 2 và chu kì 10.

Từ kết quả thu được cho thấy, tốc độ phân cực anot cao hơn tốc độ phân cực catot. Chứng tỏ tốc độ quá trình nạp hơn quá trình phóng.

Bảng 1: Giá trị tốc độ quá trình phân cực anot và phân cực catot ở tốc độ quét thế 10 mV/s

	q_n (C)	t_n (s)	q_{n+1} (C)	t_{n+1} (s)	Δq (C)	Δt (s)	V_c hoặc V_a (C/s)
A_2	-56,01	648,30	71,00	806,51	635,03	158,2	20,1
C_2	84,20	908,56	-113,32	1208,85	987,62	300,2	16,6
A_{10}	-454,34	908,70	+460,23	952,90	914,57	44,2	20,7
C_{10}	460,29	952,30	-504,14	1008,20	964,43	55,9	17,3

3.2.2. Hiệu suất hoạt hóa điện cực nano bạc/bạc oxit trong dung dịch điện li kiềm

Hiệu suất hoạt hóa cho phép ta đánh giá khả năng thuận nghịch của hệ điện cực khảo sát. Đường cong CV thu được khi tiến hành quét thế, giá trị dòng điện trong quá trình hoạt hóa được tự động ghi theo thời gian. Dung lượng nạp Q_n tương ứng với dòng điện mang dấu dương (dòng nạp), dung lượng phóng Q_p ứng với dòng điện mang dấu âm (dòng phóng), xem hình 2.

Căn cứ vào giá trị dòng điện nạp - phóng theo thời gian, tính toán giá trị dung lượng nạp và dung lượng phóng điện theo các công thức sau:

$$Q_n = \int_{t_1}^{t_2} I_n dt \quad Q_p = \int_{t_1}^{t_2} I_p dt \quad (2)$$

Trong đó, Q_n , Q_p là dung lượng quá trình nạp và phóng điện của điện cực; t_1 , t_2 là thời gian đầu và

cuối của quá trình nạp hay phóng điện.

Hiệu suất hoạt hóa của quá trình phóng nạp được tính theo công thức:

$$H = \frac{Q_p}{Q_n} \cdot 100\% \quad (3)$$

Kết quả thực nghiệm được tính toán theo các công thức (1) và (2) và được trình bày ở bảng 2. Bảng 2 cho thấy, với tốc độ quét thế 10 mV/s theo chu kì nạp phóng dung lượng nạp và phóng điện tăng dần lên. Tuy vậy, ở những chu kì đầu mặc dù dung lượng phóng nạp không lớn nhưng hiệu suất hoạt hóa đạt giá trị cao hơn những chu kì sau. Nói chung, sau 50 chu kì cả dung lượng phóng và nạp đều tăng nhẹ và tương đối ổn định. Hiệu suất hoạt hóa lớn, trên 90 % và giảm nhẹ theo chu kì phóng nạp. Những điều này cho thấy điện cực nano bạc/bạc oxit có tính thuận nghịch cao, phù hợp cho ứng dụng trong ac quy bạc - kẽm.

Bảng 2: Giá trị dung lượng và hiệu suất hoạt hóa theo chu kì phóng nạp ở tốc độ quét thế 10 mV/s

Dung lượng nạp - phóng	Chu kì				
	2	5	20	40	50
Q_n (C)	148,9	154,7	157,3	160,8	161,9
Q_p (C)	138,8	142,0	143,5	145,5	146,1
Hiệu suất hoạt hóa (%)	93,2	91,8	91,2	90,5	90,2

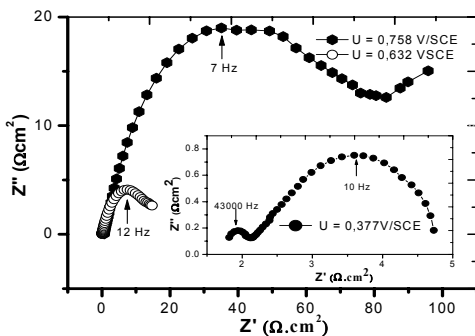
3.3. Phổ tổng trở điện hóa Nyquist hệ điện cực nano bạc/bạc trong dung dịch KOH

3.3.1. Phổ tổng trở Nyquist quá trình phân cực anot

Khảo sát các điểm điện thế đặc trưng quá trình

chuyển điện tích hay khuếch tán trong quá trình nạp điện trên phổ CV điện cực nano bạc/bạc oxit trong dung dịch KOH 10 M ở tốc độ quét 10 mV/s. Khảo sát phổ tổng trở điện hóa điện cực nano bạc/bạc oxit được thực hiện khi dòng xoay chiều đặt vào có biên độ $U_0 = 10$ mV, tần số biến thiên $f = 100000$ Hz $\approx 0,1$ Hz.

Kết quả thu được tại các điểm điện thế đại diện cho quá trình phân cực anot được thể hiện trên hình 3. Kết quả thu được cho thấy tại điện thế $U = 0,377$ V/SCE trên phổ đồ Nyquist xuất hiện 2 cung tròn nối tiếp nhau chứng tỏ tại đây yếu tố động học chuyển điện tích không chế, xảy ra 2 quá trình oxi hóa, ở đây có thể là quá trình hình thành Ag_2O đồng thời Ag_2O bị oxi hóa thành AgO . Tiếp tục quá trình phân cực đến điện thế $U = 0,632$ V/SCE, tại đây giá trị tổng trở bắt đầu tăng lên và quá trình xảy ra lúc này tiếp tục do yếu tố động học chuyển điện tích không chế.



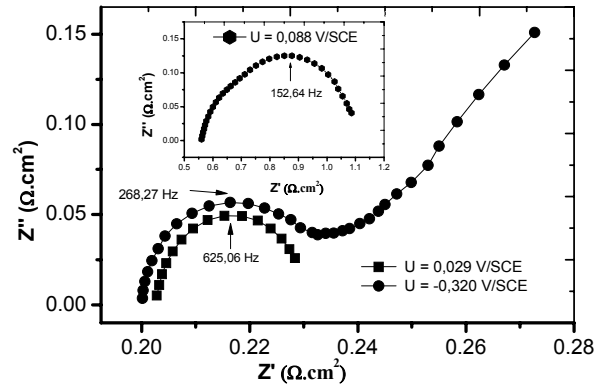
Hình 3: Phổ tổng trở điện hóa hệ điện cực nano bạc/bạc oxit vùng anot (nạp điện)

Đến điểm điện thế $U = 0,758$ V/SCE, trên đồ thị phổ tổng trở hình 5 ta thấy rằng tại vùng tần số cao $100000 \text{ Hz} \div 10 \text{ Hz}$ tổng trở có dạng hình bán cung thể hiện quá trình không chế động học, còn tại vùng tần số thấp $10 \text{ Hz} \div 0,1 \text{ Hz}$ có dạng đường thẳng nghiêng thể hiện quá trình không chế khuếch tán Warburg, đặc trưng cho sự khuếch tán của ion O^{2-} vào trong vật liệu điện cực. Giá trị tổng trở tại đây rất lớn. Điều này phù hợp kết quả khảo sát quá trình nạp điện là quá trình tạo oxit Ag_2O , AgO dẫn đến giá trị tổng trở tăng lên [3].

3.3.2. Phổ tổng trở Nyquist quá trình phân cực catot

Kết quả khảo sát phổ tổng trở quá trình phân cực catot được thể hiện trên hình 4.

Tại vùng điện thế $U = 0,088$ V/SCE xuất hiện một bán cung có giá trị tổng trở nhỏ, tại đây xảy ra quá trình khử các oxit bạc về oxit bạc và bạc kim loại và yếu tố chuyển điện tích quyết định tốc độ của phản ứng. Đến điện thế $U = 0,029$ V/SCE và nhỏ hơn xuất hiện một bán cung ở tần số cao, ở tần số thấp xuất hiện đường thẳng nghiêng và giá trị tổng trở rất nhỏ (dưới $0,3 \Omega$), điều này cho thấy ở vùng điện thế này hầu hết bạc oxit đã bị khử chuyển về bạc kim loại do đó độ dẫn điện tăng lên làm giảm nội trở của hệ.



Hình 4: Phổ tổng trở điện hóa hệ điện cực nano bạc/bạc oxit vùng catot (phóng điện)

3.3. Nghiên cứu quá trình nạp – phóng bằng phân cực dòng không đổi

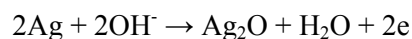
Các mẫu điện cực nano bạc/bạc oxit chế tạo được nạp – phóng ở chế độ mật độ dòng không đổi $i = 500, 1000, 2000$ và 5000 (mA/g). Quá trình khảo sát được thực hiện trên hệ 2 và 3 điện cực, theo dõi quá trình nạp – phóng bằng thiết bị ghi điện thế - thời gian.

3.3.1. Khảo sát quá trình nạp – phóng trên hệ 3 điện cực bằng nạp điện dòng không đổi

Kết quả khảo sát quá trình nạp – phóng điện điện cực nano bạc/bạc oxit trong dung dịch điện li KOH và các yếu tố nội trở và điện dung lớp kép ở giá trị mật độ dòng không đổi 500 mA/g trên hệ 3 điện cực thu được và kết hợp phổ tổng trở thu được ở trên sau khi tính toán được thể hiện ở hình 5 và 6.

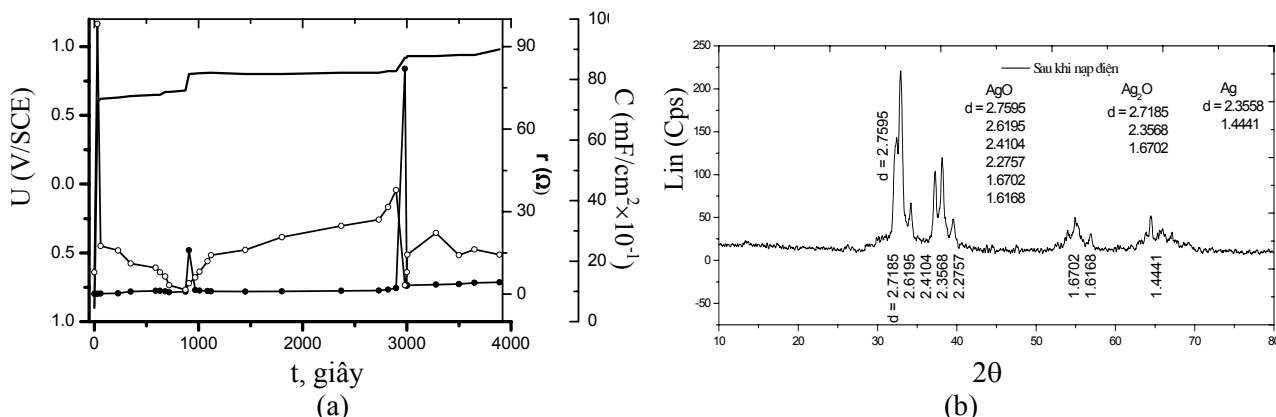
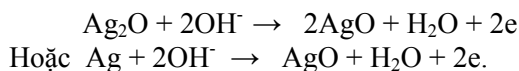
Kết quả từ hình 5 và 6 cho thấy, trên đường cong nạp - phóng điện đều xuất hiện hai nấc điện thế nằm ngang với độ dài khác nhau.

Trên đường cong nạp điện tồn tại hai vùng điện thế nằm ngang khá rõ nét. Vùng thế thứ nhất ứng với khoảng điện thế $0,62-0,80$ V/SCE với phản ứng oxi hóa bạc thành Ag_2O :



Vùng này giá trị điện trở ban đầu tương đối bé, đến cuối đoạn này điện trở tăng vọt sau đó giảm xuống, nguyên nhân là do quá trình chuyển bạc kim loại lên Ag_2O đã hoàn tất, dẫn đến dòng Faraday đột ngột giảm mạnh, để đảm bảo giá trị dòng không đổi điện thế bắt buộc phải tăng lên đột ngột dẫn đến giá trị điện trở tăng lên; còn giá trị điện dung ban đầu rất lớn sau đó giảm dần. Tiếp tục phân cực anot xuất hiện vùng điện thế nằm ngang thứ hai ứng với khoảng điện thế $0,81$ V/SCE đến $0,89$ V/SCE. Tại

vùng điện thế này xảy ra phản ứng oxi hóa Ag₂O hoặc Ag kim loại thành AgO:

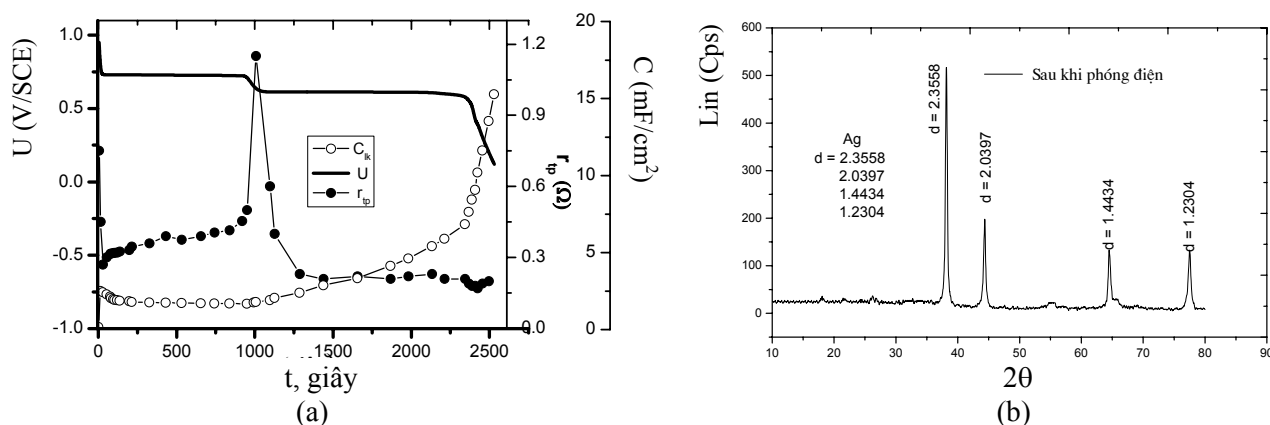


Hình 5: Đường phóng điện điện (—), điện trở (-●-) và điện dung lớp kép (-○-) của điện cực nano bạc/bạc oxit ở mật độ dòng 500 mA/g (hình a). Phổ XRD mẫu điện cực nano bạc/bạc oxit sau khi nạp điện và phóng điện (hình b)

Sau giai đoạn chuyển từ vùng điện thế thứ hai, giá trị điện trở tăng lên không đáng kể ở hầu hết giai đoạn này nhưng bất ngờ tăng vọt và cao hơn sự chuyển vùng điện thế thứ nhất, tương tự với sự tăng điện trở ở giai đoạn trên, đây có thể do Ag₂O đã bị oxi hóa hoàn toàn thành AgO, dẫn đến tại đó dòng Faraday giảm mạnh gây nên sự tăng cao điện trở. Giá trị điện dung vùng này tăng chậm và giảm đột ngột tại vùng điện

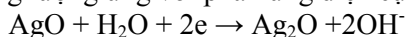
trở cao, sau đó lại tăng dần lên. Trên phổ XRD hình 5b cho thấy các pic đặc trưng của AgO, Ag₂O chiếm ưu thế cường độ lớn, quá trình nạp điện hầu hết được chuyển về AgO, Ag₂O và có xuất hiện pic với cường độ yếu của Ag kim loại.

Tương ứng đường cong nạp điện, trên đường cong phóng điện được thể hiện trên hình 6a, tồn tại hai vùng điện thế nằm ngang rất rõ nét.



Hình 6: Đường phóng điện điện (—), điện trở (-●-) và điện dung lớp kép (-○-) của điện cực nano bạc/bạc oxit ở mật độ dòng 500 mA/g (hình a). Phổ XRD điện cực sau khi phóng điện (hình b)

Vùng điện thế thứ nhất, khoảng điện thế tương đối cao 0,78 V-0,72 V/SCE chiếm khoảng trên 30 % dung lượng ứng với phản ứng điện cực:

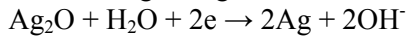


Tại vùng này, giá trị điện trở rất nhỏ cỡ 0,3-0,5Ω; cho đến giai đoạn chuyển tiếp sang vùng phóng thứ hai thì điện trở ở đây tăng vọt với giá trị xấp xỉ 1,2 Ω sau đó giảm nhanh xuống dưới 0,3 Ω. Nguyên nhân của sự tăng điện trở đột ngột cũng

tương tự sự tăng điện trở của quá trình nạp điện là do AgO đã phản ứng hết và bắt đầu chuyển sang giai đoạn Ag₂O phóng điện, tại thời điểm đó dòng Faraday đột ngột giảm mạnh, điện thế giảm xuống để đảm bảo cho dòng điện không đổi dẫn đến giá trị điện trở tăng. Giá trị điện dung vùng này giảm dần và có giá trị thấp nhất tại vùng điện trở cao. Điều này là một trong những nguyên nhân gây nên sự sụt thế trên đường phóng điện chuyển từ vùng thứ nhất

sang vùng thứ hai.

Vùng nằm ngang thứ hai, có giá trị điện thế đạt từ 0,62 V/SCE đến 0,55 V/SCE ứng với quá trình khử Ag_2O về bạc kim loại. Đây là quá trình chính quyết định dung lượng của điện cực:

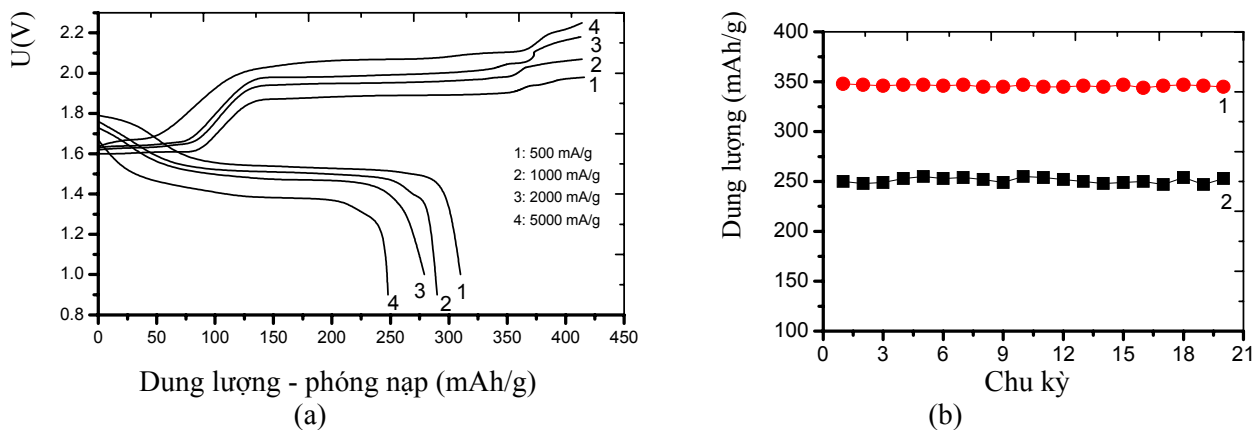


Tại vùng này giá trị điện trở giảm xuống rất nhỏ dưới $0,3 \Omega$ và giá trị điện dung tăng lên rất lớn cỡ 15 mF/cm^2 . Điều này cho thấy quá trình các bạc oxit bị khử gần như hoàn toàn về Ag kim loại. Điều này được kiểm chứng bằng việc phân tích phổ XRD mẫu sau khi phóng điện ở hình 6b. Hình 6b cho thấy sau

khí phóng điện mẫu điện cực, vật liệu điện cực được chuyển hoàn toàn về dạng bạc kim loại.

3.3.2. Khảo sát quá trình nạp – phóng trên hệ 2 điện cực bằng phân cực dòng không đổi

Khảo sát quá trình nạp - phóng điện trên hệ 2 điện cực là điện cực nano bạc/bạc oxit và điện cực đối là điện cực kẽm trong dung dịch điện li KOH 10 M với mật độ dòng không đổi $i = 500; 1000; 2000; 5000 \text{ (mA/g)}$. Đường nạp - phóng điện được thể hiện trên hình 7.



Hình 7: Đường nạp - phóng điện của điện cực hệ nano bạc/bạc oxit với mật độ dòng không đổi (hình a). Độ ổn định của các chu kỳ nạp (1) - phóng điện (2) của điện cực hệ nano bạc/bạc oxit với cường độ dòng phóng nạp 5000 mA/g (hình b)

Khi nạp điện, dòng nạp càng cao sự tích điện càng lớn, giá trị điện thế cao, giá trị dung lượng lớn. Khi phóng điện, cường độ dòng phóng càng cao dung lượng phóng giảm. Với cường độ dòng điện 500 mA/g dung lượng riêng đạt 342 mAh/g. Khi tăng cường độ dòng điện lên 5000 mA/g dung lượng phóng giảm xuống còn 255 mAh/g.

Độ ổn định của quá trình phóng – nạp theo chu kỳ được biểu diễn trên hình 7b. Hình 7b cho thấy, dung lượng phóng và nạp hầu như không thay đổi theo chu kỳ. Sự ổn định dung lượng theo chu kỳ phóng-nạp chứng tỏ điện cực chế tạo làm việc ổn định và tính thuận nghịch cao.

Khảo sát quá trình phóng điện cho thấy khi phóng dòng cao 5000 mA/g (25C) điện cực nano bạc/bạc oxit chế tạo cho thể phóng điện đạt trung bình 1,4 V; dung lượng phóng điện 250 mAh/g và công suất riêng đạt 7 kW/kg. Kết quả cho thấy hệ điện cực chế tạo với hoạt chất điện cực kích thước nanomet có tính chất điện hoá tốt và đặc biệt là công suất riêng đạt được cao hơn nhiều so với điện cực thông thường hiện nay (1-2,5 kW/kg) [6].

4. KẾT LUẬN

1. Đã chế tạo điện cực bạc/bạc oxit với vật liệu hoạt hóa điện cực có kích thước nanomet sử dụng trong chế tạo nguồn điện và khảo sát cấu trúc, thành phần điện cực chế tạo.

2. Bằng phương pháp quét thể tuần hoàn và phổ tổng trở điện hóa khảo sát tính chất điện hóa hệ điện cực nano bạc/bạc oxit trong dung dịch điện li KOH cho thấy điện cực chế tạo có tính thuận nghịch cao, thời gian nạp điện nhanh, tốc độ phản ứng phóng điện lớn, điện trở phóng điện thấp.

3. Kết quả phóng điện bằng dòng không đổi cho thấy điện cực chế tạo có dung lượng riêng và công suất riêng lớn; có khả năng phóng điện bằng dòng cao, nạp điện nhanh. Dung lượng nạp - phóng ổn định theo chu kỳ nạp - phóng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Bùi Đức Cường, Trần Quốc Tuy, Nguyễn Đức Hùng. Nghiên cứu điều chế nano bạc dạng bột bằng phương pháp khử trong môi trường kiềm, Tạp chí NCKH & CNQS số 22, 85-92 (2012).

2. Trần Quốc Tùy, Nguyễn Văn Tú, Dương chí Quân, Bùi Đức Cường. *Nghiên cứu phản ứng oxi hóa khử điện hóa điện cực bạc trong dung dịch điện ly kiềm*, Tạp chí NCKH&CNQS, số 4, 12/2009.
3. A. Fleischer, J. Lander. *Zinc-Silver Oxide Batteries*, 99-153, NewYork (1971).
4. H.A. Kiehne. *Batteries Technology Hand book*, Tr 457-463. Germany Marcel Dekker. INC (2003).
5. David F. Smith Curtis Brown. *Aging in chemically prepared divalent silver oxide electrodes for silver/zinc reserve batteries*, Journal of Power Sources, **96**, 121-127 (2001).
6. Junqing Pan, Yanzhi Sun, Zihao Wang, Pingyu Wan, Xiaoguang Liua and Maohong Fan. *Nano silver oxide (AgO) as a super high charge/discharge rate cathode material for rechargeable alkaline batteries*, Journal of Materials Chemistry, **17**, 4820-4825 (2007).

Liên hệ: Bùi Đức Cường

Viện Hóa học - Vật liệu,

Viện Khoa học và Công nghệ Quân sự

17 Hoàng Sâm, Cầu Giấy, Hà Nội

Email: cuongtsas@gmail.com; Điện thoại: 0946285745.