

Chế tạo màng trao đổi anion từ polyvinyl alcohol và glycidyltrimethylammonium chloride sử dụng cho thiết bị khử ion điện dung màng

Nguyễn Ngân Tuấn^{1,2}, Ngô Hoàng Long¹, Nguyễn Ngọc Như Quỳnh², Nguyễn Thanh Tùng¹

¹Trung tâm Nghiên cứu Chuyển giao Công nghệ Việt Hàn, Viện Kỹ thuật Công nghệ cao, Trường Đại học Nguyễn Tất Thành

²Bộ môn Hóa Lí, Khoa Hóa học, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG TP.HCM
nntuan@ntt.edu.vn, longnh@ntt.edu.vn

Tóm tắt

Công nghệ khử ion điện dung màng là một công nghệ khử mặn tiên tiến sử dụng dòng điện giữa hai điện cực được phủ màng trao đổi ion để loại bỏ muối ra khỏi dung dịch. So với thiết bị khử ion điện dung thông thường, việc sử dụng màng trao đổi ion (khử ion điện dung màng) giúp thiết bị tối ưu hóa hiệu suất khử muối và hiệu quả sử dụng năng lượng. Nghiên cứu này đã sử dụng polyvinyl alcohol, glycidyltrimethylammonium chloride, và glutaric anhydride để chế tạo màng trao đổi anion độc lập hoặc được gắn lên điện cực carbon. Màng composite PVA/GTMAC/GA giúp giảm độ hấp thụ nước và cải thiện khả năng dẫn điện cho màng, giúp màng có khả năng ứng dụng trong điện cực của thiết bị khử ion điện dung màng. Hiệu suất khử muối của màng trao đổi anion PVA/GTMAC/GA không thua kém nhiều so với màng trao đổi anion công nghiệp, mở ra một hướng mới trong việc chế tạo màng composite từ những hóa chất rẻ tiền cùng với phương pháp sản xuất nhanh gọn và đơn giản.

© 2023 Journal of Science and Technology – NTTU

Nhận 03/04/2023
Được duyệt 05/06/2023
Công bố 31/07/2023

Từ khóa

Màng trao đổi anion, điện dung khử ion, polyvinyl alcohol, glycidyltrimethylammonium chloride, glutaric anhydride

1 Giới thiệu

Công nghệ khử ion điện dung (Capacitive Deionization – CDI) đã và đang trở thành một công nghệ khử muối hiện đại và được sử dụng rộng rãi trong những năm gần đây. CDI có những ưu điểm như hiệu quả cao, dễ sử dụng, giá thành thấp, và giảm ô nhiễm thứ cấp, nhất là đối với những vùng nước lợ, nơi có nồng độ muối thấp [1, 2]. Công nghệ khử ion điện dung màng (MCDI) được cải tiến từ công nghệ CDI bằng cách gắn thêm màng trao đổi anion (AEM) hoặc màng trao đổi cation (CEM) lên trên bề mặt điện cực [1, 3] giúp ngăn cản sự chuyển động của các ion đối và chỉ cho phép các ion cùng dấu đi qua màng vào điện cực [4]. Điều này giúp tăng cường hiệu suất và tốc độ khử muối [5-8], tăng cường hiệu suất sử dụng dòng điện [7-10], tiêu tốn ít điện năng và có khả năng tái sử dụng năng lượng [9, 11-13]. Màng trao đổi ion (IEM) là một trong những thành phần quan trọng

nhất ảnh hưởng đến hiệu suất làm việc của thiết bị MCDI [14], trong đó cấu tạo của màng và các nhóm chức có mặt trong màng đóng vai trò quan trọng quyết định tính chất của màng trao đổi ion. Cấu tạo khung của màng trao đổi ion quyết định độ bền nhiệt, độ bền cơ học, độ bền hóa học cũng như khả năng hấp thụ nước của màng, trong khi đó các nhóm chức có thể điều chỉnh khả năng hấp phụ và độ chọn lọc ion của màng [15].

PVA là một loại vật liệu phổ biến, rẻ tiền và thân thiện với môi trường, thường được dùng để chế tạo màng do khả năng dễ tạo liên kết khâu mạng [16, 17]. Tuy nhiên, do thiếu các nhóm định chức mà PVA thường có độ dẫn ion kém [18], nên thường phải thêm các nhóm định chức dẫn ion khác như hydroxyl ($-OH$), carboxylate ($-COOH$), sulfonate ($-RSO_3$), amine ($-NH_2$), và ammonium tứ cấp ($-NR_4$) [19]. Các hợp chất này có khả năng tạo liên kết khâu mạng với các nhóm hydroxyl trong cấu trúc của

PVA để tạo thành cấu trúc mạng lưới và cải thiện khả năng dẫn ion [20, 21].

Nghiên cứu này tập trung chế tạo màng composite từ polyvinyl alcohol (PVA), glycidyltrimethylammonium chloride (GTMAC), và glutaric anhydride (GA) như một màng trao đổi anion độc lập hoặc được gắn lên điện cực carbon, nghiên cứu độ hấp thu nước và khả năng dẫn ion của màng, đồng thời sử dụng điện cực phủ màng composite PVA/GTMAC/GA trong thiết bị MCDI nhằm đánh giá khả năng hoạt động của màng trao đổi ion so với màng trao đổi anion công nghiệp.

2 Thực nghiệm

2.1 Hóa chất và thiết bị

PVA (98 %, $M = (146.000-186.000) \text{ g mol}^{-1}$) và GA (95 %) mua từ Acros, Belgium. Than hoạt tính được cung cấp bởi Công ty Trabaco (Việt Nam). Carbon nanotube đa vách (MWCNT) được mua từ công ty NTherma (USA). GTMAC (90 %), hydrochloric acid (HCl, 37 %), kali hydroxide (KOH, 99 %), natri chloride (NaCl, 99 %) mua từ Sigma Aldrich (USA). Tấm graphite (độ dày 200 μm) được cung cấp bởi Mineral Seal (USA). Màng trao đổi anion công nghiệp (MCN, độ dày 100 μm) được cung cấp bởi Liaoning Yichen Membrane Technology Co., Ltd. (China).

2.2 Quy trình thực nghiệm

Chuẩn bị dung dịch PVA 6 %: cân 18,367 g PVA cho vào cốc thủy tinh có chứa sẵn 281,633 g nước cất. Hỗn hợp được khuấy ở 90 °C trong 24 giờ bằng máy khuấy từ gia nhiệt thu được dung dịch PVA 6 %.

Chuẩn bị gel trao đổi ion từ PVA, GTMAC và GA: hòa tan khoảng 0,135 g KOH trong 3 mL nước cất tạo thành dung dịch KOH. Thêm khoảng 0,345 g dung dịch GTMAC và hỗn hợp trên vào cốc thủy tinh chứa 30 g PVA 6 %. Hỗn hợp trên được khuấy từ gia nhiệt ở 60 °C trong 4 giờ, sau đó tạo kết tinh PVA/GTMAC (QPVA) dạng polymer trắng đục bằng cách nhỏ từ từ từng giọt hỗn hợp vào cốc thủy tinh chứa sẵn 150 mL ethanol. Hòa tan hoàn toàn QPVA thu được trong 30 mL nước cất tại 90 °C. Hỗn hợp sau khi hòa tan được chỉnh pH = 5 bằng cách nhỏ từ từ dung dịch HCl 0,1 M, thu được hỗn hợp QPVA. Từ hỗn hợp này, tiếp tục thêm (0,05-0,5) g GA (1-10) % và khuấy gia nhiệt ở 60 °C trong 4 giờ, thu được hỗn hợp PVA/GTMAC/GA.

Chế tạo màng trao đổi anion: cho 30 g hỗn hợp PVA/GTMAC/GA vào đĩa petri nhựa và sấy khô ở nhiệt độ 60 °C trong 12 giờ. Tiếp tục sấy ở 80 °C trong

4 giờ để thực hiện quá trình khâu mạch. Màng sau khi sấy được ngâm trong 50 mL dung dịch NaCl 0,5 M trong 20 phút, tiếp tục ngâm trong 50 mL nước cất trong 20 phút. Sau đó màng được làm khô bằng cách sấy 60 °C trong 12 giờ. Màng trao đổi anion thu được sử dụng để khảo sát các tính chất riêng của màng.

Chế tạo điện cực carbon hoạt tính: 100 g dung dịch PVA 6 % được hạ xuống nhiệt độ phòng, thêm tiếp 0,818 g GA vào dung dịch PVA 6 % và khuấy trong 1 giờ. Sau đó, 0,614 g MWCNT được thêm vào và tiếp tục khuấy trong 1 giờ. Tiếp tục cho 60,386 g than hoạt tính (AC) vào hỗn hợp và đồng hóa với tốc độ cao (14.000 rpm) trong 10 phút. Tấm điện cực được chế tạo trên tấm graphite (20 × 30) cm, độ dày 200 μm). Điện cực sau khi chế tạo được để khô tự nhiên trong 1 giờ và sấy ở 120 °C trong 4 giờ.

Bảng 1: Tên mẫu và thành phần

Tên mẫu	PVA	KOH	GTMAC	GA
PVA	100	0	0	0
QPVA		5	5	0
1GA				1
2.5GA				2,5
5GA				5
7.5GA				7,5
10GA				10

2.3 Tính chất của màng trao đổi anion

Phổ hồng ngoại biến đổi Fourier (FTIR) được xác định trong khoảng (4.000-650) cm^{-1} sử dụng màng trao đổi anion độc lập, được đo bằng chế độ ATR trên thiết bị Cary 630 FT-IR (Agilent Technologies Inc., Santa Clara, CA)

2.4 Xác định độ hấp thu nước (WU)

Ngâm màng có khối lượng (0,1-0,2) g trong 80 mL nước cất ở điều kiện thường (48 giờ). Sau đó, thấm khô nước trên bề mặt màng bằng giấy lọc và xác định khối lượng. Tiếp tục sấy màng ở 60 °C trong 24 giờ, cân và xác định lại khối lượng màng sau sấy. Tiến hành phép đo này 3 lần trên mỗi mẫu khảo sát và lấy giá trị trung bình. Chỉ số WU được tính theo công thức sau:

$$WU (\%) = \frac{m_{\text{ướt}} - m_{\text{khô}}}{m_{\text{khô}}} \times 100 \quad (1)$$

Trong đó: $m_{\text{ướt}}$ (g): khối lượng màng sau khi ngâm nước; $m_{\text{khô}}$ (g): khối lượng màng sau khi sấy.

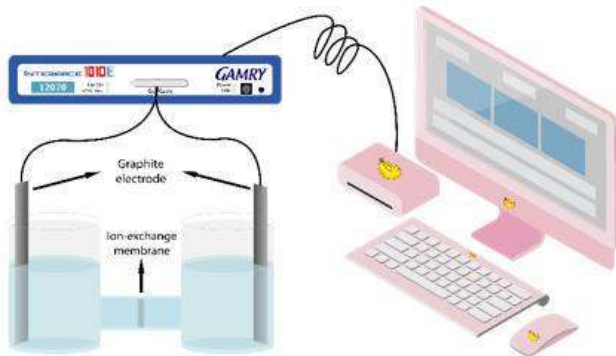
2.5 Độ dẫn ion

Cắt mẫu cần đo có kích thước (1 × 1) cm và xác định độ dày màng. Ngâm mẫu trong 30 mL nước cất trong 24 giờ. Tiến hành lắp mẫu vào hệ đo có diện tích trao đổi 1 cm^2 , cho dung dịch NaCl 1 M vào hệ đo. Sử dụng graphite để

làm điện cực và thiết bị đo điện hóa Gamry 1010E để xác định độ dẫn ion. Độ dẫn điện của màng được tính theo công thức:

$$\sigma = \frac{L}{R \times A} \quad (2)$$

Trong đó: σ ($\mu\text{S cm}^{-1}$): độ dẫn ion của màng; L (μm): độ dày của màng; R (Ohm): điện trở của màng; A (cm^2): diện tích màng trao đổi ion



Hình 1 Hệ điện hóa khảo sát độ dẫn màng

2.6 Khả năng hấp phụ muối

Sử dụng điện cực có kích thước ($3 \times 2,5$) cm và độ dày 100 μm . Tiến hành đo hấp phụ muối NaCl theo quy trình thực hiện như sau: bơm hoàn lưu một thể tích cố định 30 mL dung dịch NaCl 200 ppm qua hệ CDI. Theo dõi giá trị độ dẫn điện riêng của dung dịch đi qua hệ CDI cho đến khi giá trị không đổi, ghi nhận điểm bắt đầu. Áp điện thế 1,2 V vào hệ CDI, ghi nhận giá trị độ dẫn điện riêng giảm theo thời gian (5 giây/một điểm) cho đến khi đạt giá trị không đổi, ghi nhận điểm kết thúc. Quá trình hấp phụ/giải hấp phụ sẽ được lặp lại 3 chu kì với mỗi chu kì hấp phụ/giải hấp phụ kéo dài 60 phút/1 chu kì. Giá trị độ dẫn từ điểm bắt đầu đến điểm kết thúc được quy đổi thành nồng độ dựa trên đường chuẩn của dung dịch NaCl.

Dung lượng hấp phụ muối được tính thông qua công thức (3).

2.6 Khả năng hấp phụ muối

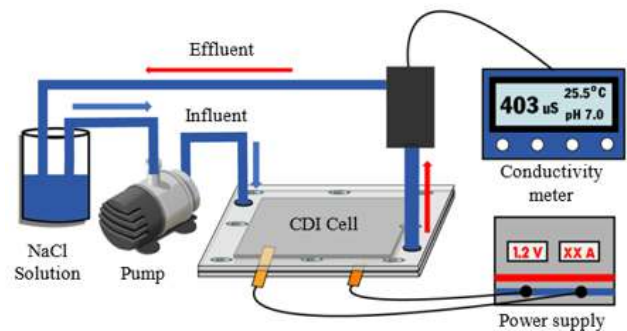
Sử dụng điện cực có kích thước ($3 \times 2,5$) cm và độ dày 100 μm . Tiến hành đo hấp phụ muối NaCl theo quy trình thực hiện như sau: bơm hoàn lưu một thể tích cố định 30 mL dung dịch NaCl 200 ppm qua hệ CDI. Theo dõi giá trị độ dẫn điện riêng của dung dịch đi qua hệ CDI cho đến khi giá trị không đổi, ghi nhận điểm bắt đầu. Áp điện thế 1,2 V vào hệ CDI, ghi nhận giá trị độ dẫn điện riêng giảm theo thời gian (5 giây/một điểm) cho đến khi đạt giá trị không đổi, ghi nhận điểm kết thúc. Quá trình hấp phụ/giải hấp phụ sẽ được lặp lại 3

chu kì với mỗi chu kì hấp phụ/giải hấp phụ kéo dài 60 phút/1 chu kì. Giá trị độ dẫn từ điểm bắt đầu đến điểm kết thúc được quy đổi thành nồng độ dựa trên đường chuẩn của dung dịch NaCl.

Dung lượng hấp phụ muối được tính thông qua công thức:

$$SAC = \frac{(C_0 - C_t) \times V}{m} \quad (3)$$

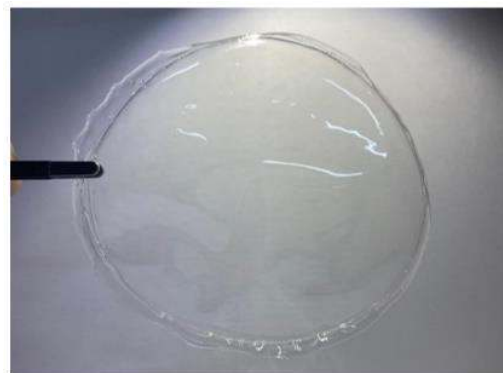
Trong đó: SAC (mg g^{-1}) dung lượng hấp phụ muối; C_0 (ppm) nồng độ đầu của dung dịch hấp phụ, C_t (ppm) nồng độ tại thời gian t , V (L): tổng thể tích của dung dịch hấp phụ, m (g) khối lượng của điện cực, t (s) thời gian hấp phụ.



Hình 2 Hệ CDI khảo sát khả năng hấp phụ muối

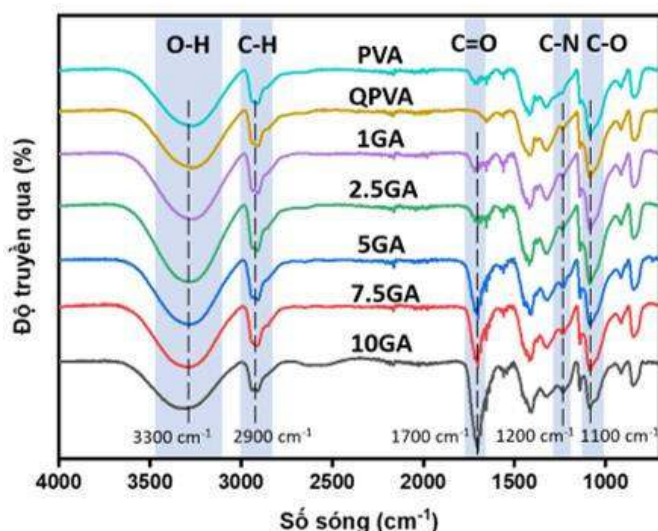
3 Kết quả và biện luận

3.1 Phổ hồng ngoại biến đổi Fourier



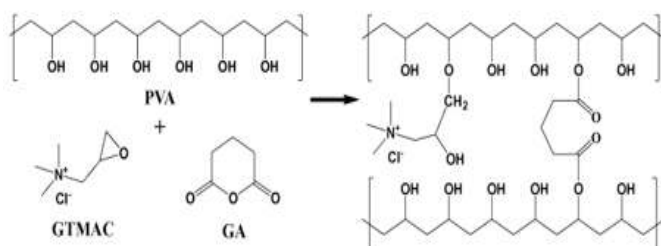
Hình 3 Ảnh chụp của màng trao đổi anion

Màng sau khi được tổng hợp theo quy trình có dạng trong suốt được trình bày như trong Hình 3. Để kiểm chứng khả năng tạo nhóm chức trên mạch PVA, các mẫu màng được tiến hành phân tích phổ hồng ngoại biến đổi Fourier.



Hình 4 Giản đồ FTIR của PVA và các màng AEM biến thiên theo nồng độ GA

Giản đồ FT-IR của màng PVA, PVA/GTMAC (QPVA) và các màng PVA/GTMAC/GA (1GA, 2.5GA, 5GA, 7.5GA, 10GA) được biểu diễn trên Hình 4. Các nhóm chức đặc trưng của PVA bao gồm đỉnh rộng ở khoảng $(3.500-3.200) \text{ cm}^{-1}$ là dao động kéo giãn nhóm OH; đỉnh hấp thụ tại vị trí 2.900 cm^{-1} là dao động đặc trưng cho sự kéo giãn của nhóm CH_2 ; tín hiệu tại vị trí 1.100 cm^{-1} thể hiện dao động của liên kết giữa C và O. Ngoài ra, màng PVA/GTMAC và PVA/GTMAC/GA xuất hiện dao động tại khoảng 1.200 cm^{-1} đặc trưng cho sự hình thành liên kết C-O-C giữa PVA và GTMAC [22]. Liên kết này hình thành trên mạch PVA bằng liên kết giữa nhóm epoxy của GTMAC và nhóm hydroxyl của PVA (Hình 5) đóng vai trò nhóm trao đổi anion trên màng AEM [23].

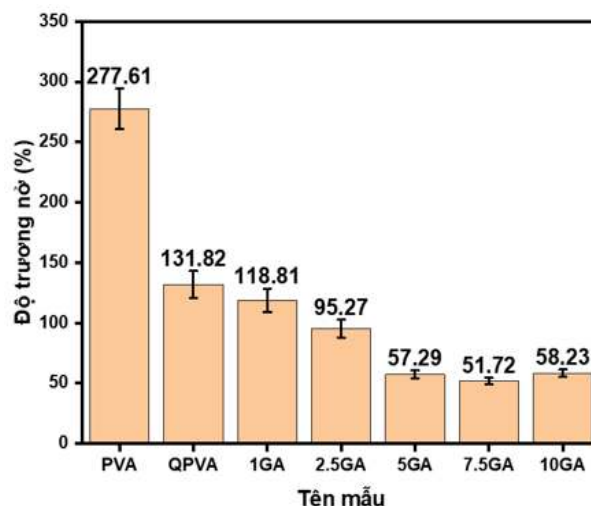


Hình 5 Phản ứng giữa PVA/GTMAC/GA [23]

3.2 Độ hấp thụ nước

Chỉ số WU của màng giúp đánh giá khả năng tạo liên kết chéo giữa PVA và GA. Tính ưa nước của màng AEM bởi nhóm OH sẽ tác động làm phân rã khi sử dụng trong môi trường nước. Quá trình nối mạng giữa PVA và GA sẽ làm giảm số nhóm OH có trong mạch PVA, đồng thời làm tăng phân tử lượng của polymer, từ đó làm giảm khả năng phân rã của màng trao đổi ion.

Độ trương nở của màng trong nước được đánh giá theo quy trình và được trình bày như trong Hình 6.

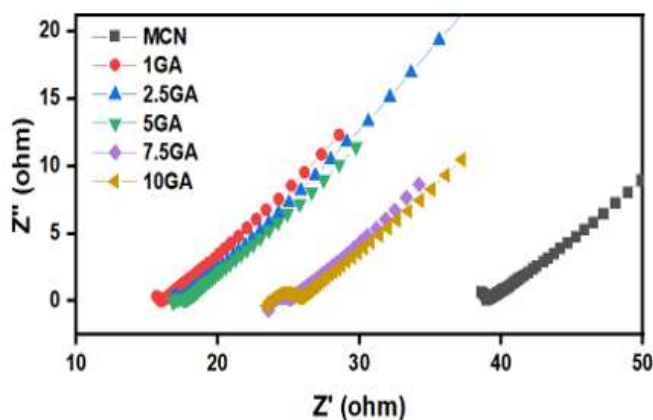


Hình 6 Chỉ số WU của màng biến thiên theo nồng độ GA

Giá trị WU của màng QPVA (131,82 %) giảm một nửa so với màng PVA (277,61 %). Sự giảm WU của màng có thể được giải thích do có sự tạo liên kết giữa GTMAC với PVA làm hạn chế các phân tử nước xâm thực vào bên trong.

Đối với các màng trao đổi ion (1GA, 2.5GA, 5GA, 7.5GA, 10GA), giá trị của màng AEM giảm khi hàm lượng GA tăng từ (0-7,5) %. Cụ thể, WU của màng 2.5GA (95,27 %) tương ứng với hàm lượng 2,5 % GA, giảm khoảng 40 % so với màng QPVA không chứa GA (131,82 %). Tương tự, khi tăng hàm lượng GA từ 2,5 % lên 5 % , giá trị WU giảm nhiều từ 95,27 % xuống còn 57,29 % (giảm khoảng 40 %). Tuy nhiên, khi tiếp tục tăng hàm lượng GA thêm 2,5 % (từ 5 % lên 7,5 %), giá trị WU chỉ giảm nhẹ từ 57,29 % còn 51,72 %. Ngoài ra, khi nồng độ GA tăng đến 10 %, giá trị này tăng nhẹ (58,23 %). Giá trị WU của màng ở nồng độ 7,5 % đạt giá trị thấp nhất nhưng không đáng kể so với 5 % và 10 %. Cho thấy (5-10) % là khoảng nồng độ của GA khâu mạng hiệu quả với PVA.

Theo đó, màng có nồng độ GA là 5 % được chọn để chế tạo màng AEM. Từ những phân tích trên, có thể kết luận rằng, việc thêm chất nối mạng GA giúp giảm đáng kể giá trị WU do GA có tương tác tạo liên kết chéo với PVA, việc thêm chất nối mạng GA giúp màng giảm khả năng phân rã trong môi trường nước, do đó giúp màng bền hơn khi hoạt động trong môi trường nước.



Hình 7 Giản đồ Nyquist của các mẫu màng

Độ dẫn ion của các AEM đo bằng phương pháp tổng trở điện hóa theo quy trình. Phổ tổng trở NYQUIST của các AEM được trình bày như Hình 7, giá trị điện trở màng được xử lý bằng phần mềm Gamry Analyst được trình bày trong Bảng 2.

Bảng 2 Giá trị điện trở và độ dẫn của các loại màng

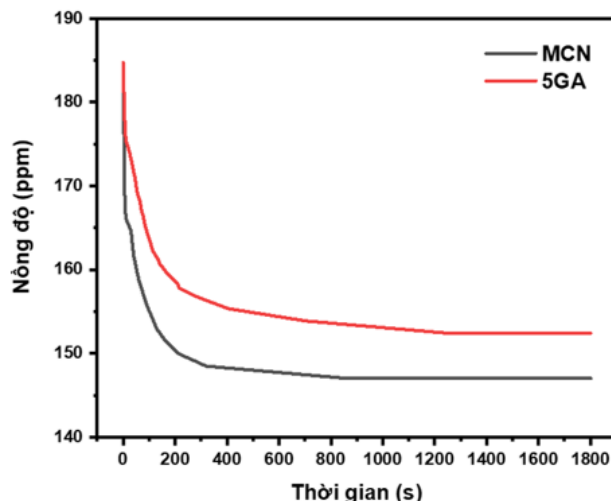
Tên mẫu	R (Ω)	σ ($\mu\text{S cm}^{-1}$)
MCN	34,55	318,38
1GA	15,98	688,14
2.5GA	17,32	635,18
5GA	18,02	610,40
7.5GA	24,93	441,17
10GA	25,66	428,72

Theo Bảng 2, điện trở màng tăng khi tăng nồng độ GA từ 1 % lên 10 %, tương ứng độ dẫn ion giảm. Cụ thể, độ dẫn ion của 1GA giảm từ 688,14 $\mu\text{S cm}^{-1}$ xuống còn 428,72 $\mu\text{S cm}^{-1}$ ở màng 10GA. Như vậy, quá trình nối mạng bằng GA làm tăng tính bền của màng nhưng giảm khả năng dẫn ion qua màng.

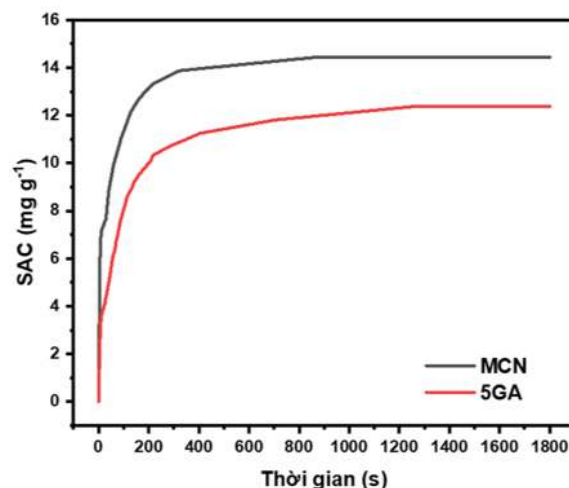
3.4 Khả năng hoạt động của màng trong hệ hấp phụ muối

Dựa vào các chỉ số WU và độ dẫn ion, mẫu 5GA được lựa chọn để khảo sát khả năng hoạt động trong hệ hấp phụ muối.

Hình 8 biểu diễn sự thay đổi nồng độ dung dịch muối theo thời gian của hệ MCDI sử dụng MCN và 5GA. Trên cả hai hệ, nồng độ muối NaCl giảm nhanh trong khoảng 200 giây đầu, sau đó giảm chậm cho đến khi đạt đến bão hòa. Trong đó, MCN có quá trình hấp phụ đến khi đạt bão hòa (845 giây) nhanh hơn so với điện cực màng 5GA (1.240 giây).



Hình 8 Đường hấp phụ của hệ sử dụng màng công nghiệp và màng 5GA



Hình 9 Giản đồ SAC của hệ sử dụng màng công nghiệp và màng 5GA

Giá trị SAC được tính toán theo công thức và trình bày trong Hình 9. Dung lượng hấp phụ tăng nhanh từ (0-10) mg g^{-1} trong 200 giây đầu, sau đó giảm chậm. Giá trị hấp phụ muối cực đại (mSAC) của MCN đạt 14,44 mg g^{-1} và của 5GA là 12,37 mg g^{-1} . Với dung lượng hấp phụ muối cực đại không chênh lệch nhiều so với hệ sử dụng màng công nghiệp (nhỏ hơn 14,33 %), điện cực phủ màng 5GA có thể ứng dụng trong thiết bị MCDI.

4 Kết luận

Nghiên cứu này đã chế tạo thành công màng composite PVA/GTMAC/GA từ các hóa chất rẻ tiền bằng phương pháp đơn giản và hiệu quả. Việc tạo màng bằng GTMAC và GA giúp giảm mạnh độ trương nở và cải thiện độ dẫn ion của màng so với màng PVA thông thường, chứng minh khả năng sử dụng màng composite

PVA/GTMAC/GA trong điện cực của thiết bị MCDI. Khả năng khử muối của điện cực composite đạt tiêu chuẩn khử muối của thiết bị CDI trong thực tế, và không thua kém nhiều so với màng công nghiệp đang được sử dụng trên thị trường. Điều này mở ra một hướng đi mới trong việc chế tạo màng trao đổi anion rẻ

tiền, đơn giản và thuận tiện cho các quá trình khử mặn cũng như loại bỏ các ion khác bằng thiết bị MCDI.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu được tài trợ bởi Quỹ Phát triển Khoa học và Công nghệ – Đại học Nguyễn Tất Thành, đề tài mã số 2022.01.21 /HD-NCKH.

Tài liệu tham khảo

1. Porada, S., Zhao, R., van der Wal, A., Presser, V., & Biesheuvel, P. M. (2013). Review on the science and technology of water desalination by capacitive deionization. *Progress in Materials Science*, 58(8), 1388-1442.
2. Suss, M. E., Porada, S., Sun, X., Biesheuvel, P. M., Yoon, J., & Presser, V. (2015). Water desalination via capacitive deionization: what is it and what can we expect from it? *Energy & Environmental Science*, 8(8), 2296-2319.
3. Biesheuvel, P. M., & van der Wal, A. (2010). Membrane capacitive deionization. *Journal of Membrane Science*, 346(2), 256-262.
4. Biesheuvel, P. M., Zhao, R., Porada, S., & van der Wal, A. (2011). Theory of membrane capacitive deionization including the effect of the electrode pore space. *Journal of Colloid and Interface Science*, 360(1), 239-248.
5. Li, H., Gao, Y., Pan, L., Zhang, Y., Chen, Y., & Sun, Z. (2008). Electrosorptive desalination by carbon nanotubes and nanofibres electrodes and ion-exchange membranes. *Water Research*, 42(20), 4923-4928.
6. Li, H., & Zou, L. (2011). Ion-exchange membrane capacitive deionization: A new strategy for brackish water desalination. *Desalination*, 275(1-3), 62-66.
7. Kim, Y.-J., & Choi, J.-H. (2010). Enhanced desalination efficiency in capacitive deionization with an ion-selective membrane. *Separation and Purification Technology*, 71(1), 70-75.
8. Kim, Y. J., & Choi, J. H. (2010). Improvement of desalination efficiency in capacitive deionization using a carbon electrode coated with an ion-exchange polymer. *Water Research*, 44(3), 990-996.
9. Zhao, R., Porada, S., Biesheuvel, P. M., & van der Wal, A. (2013). Energy consumption in membrane capacitive deionization for different water recoveries and flow rates, and comparison with reverse osmosis. *Desalination*, 330, 35-41.
10. Kim, Y.-J., Hur, J., Bae, W., & Choi, J.-H. (2010). Desalination of brackish water containing oil compound by capacitive deionization process. *Desalination*, 253(1-3), 119-123.
11. Zhao, R., Biesheuvel, P. M., & van der Wal, A. (2012). Energy consumption and constant current operation in membrane capacitive deionization. *Energy & Environmental Science*, 5(11), 9520-9527.
12. Kang, J., Kim, T., Shin, H., Lee, J., Ha, J.-I., & Yoon, J. (2016). Direct energy recovery system for membrane capacitive deionization. *Desalination*, 398, 144-150.
13. Dlugolecki, P., & van der Wal, A. (2013). Energy recovery in membrane capacitive deionization. *Environmental Science & Technology*, 47(9), 4904-4910.
14. Hassanvand, A., Wei, K., Talebi, S., Chen, G. Q., & Kentish, S. E. (2017). The Role of Ion Exchange Membranes in Membrane Capacitive Deionisation. *Membranes* (Basel), 7(3), 1-23.
15. Strathmann, H., Grabowski, A., & Eigenberger, G. (2013). Ion-Exchange Membranes in the Chemical Process Industry. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 52(31), 10364-10379.
16. Yang, E., Qin, X., & Wang, S. (2008). Electrospun crosslinked polyvinyl alcohol membrane. *Materials Letters*, 62(20), 3555-3557.

17. Hari Gopi, K., Dhavale, V. M., & Bhat, S. D. (2019). Development of polyvinyl alcohol/chitosan blend anion exchange membrane with mono and di quaternizing agents for application in alkaline polymer electrolyte fuel cells. *Materials Science for Energy Technologies*, 2(2), 194-202.
18. Shabanpanah, S., Omrani, A., & Mansour Lakouraj, M. (2019). Fabrication and characterization of PVA/NNSA/GLA/nano-silica proton conducting composite membranes for DMFC applications. *Designed Monomers and Polymers*, 22(1), 130-139.
19. Yang, C.-C. (2011). Fabrication and characterization of poly(vinyl alcohol)/montmorillonite/poly(styrene sulfonic acid) proton-conducting composite membranes for direct methanol fuel cells. *International Journal of Hydrogen Energy*, 36(7), 4419-4431.
20. Krumova, M., López, D., Benavente, R., Mijangos, C., & Pereña, J. M. (2000). Effect of crosslinking on the mechanical and thermal properties of poly(vinyl alcohol). *Polymer*, 41(26), 9265-9272.
21. Kim, J.-S., & Choi, J.-H. (2010). Fabrication and characterization of a carbon electrode coated with cation-exchange polymer for the membrane capacitive deionization applications. *Journal of Membrane Science*, 355(1-2), 85-90.
22. Ren, J. L., Sun, R. C., Liu, C. F., Chao, Z. Y., & Luo, W. (2006). Two-step preparation and thermal characterization of cationic 2-hydroxypropyltrimethylammonium chloride hemicellulose polymers from sugarcane bagasse. *Polymer Degradation and Stability*, 91(11), 2579-2587.
23. Tian, G., Liu, L., Meng, Q., & Cao, B. (2014). Preparation and characterization of cross-linked quaternised polyvinyl alcohol membrane/activated carbon composite electrode for membrane capacitive deionization. *Desalination*, 354, 107-115.

Fabrication of MCDI-utilized anion exchange membrane from polyvinyl alcohol and glycidyltrimethylammonium chloride

Ngan Tuan Nguyen^{1,2}, Hoang Long Ngo¹, Ngoc Nhu Quynh Nguyen², Thanh Tung Nguyen¹

¹VKTech Research Center, NTT Hi-Tech Institute, Nguyen Tat Thanh University

²Department of Physical Chemistry, Faculty of Chemistry, VNU-HCM University of Science
nntuan@ntt.edu.vn, longnh@ntt.edu.vn;

Abstract Membrane capacitive deionization (MCDI) is an advanced desalination technology which uses a voltage between two electrodes covered with ion-exchange membranes to remove salt. Compared to the conventional CDI, MCDI demonstrated enhanced desalination performance, such as higher salt removal and better energy efficiency. In this study, the fabrication of MCDI-utilized anion exchange membrane was conducted using polyvinyl alcohol (PVA), glycidyltrimethylammonium chloride (GTMAC), and glutaric anhydride (GA), which helped improve the water uptake and ion conductivity properties of the membrane, as well as its desalination capability. The PVA/GTMAC/GA anion exchange membrane was proven to be an inexpensive, environmentally friendly, easy to fabricate and suitable candidate to be utilized in the MCDI systems.

Keywords Anion exchange membrane, capacitive deionization, polyvinyl alcohol, glycidyltrimethylammonium chloride, glutaric anhydride