

**Bài báo nghiên cứu**

**TỔNG HỢP VÀ NGHIÊN CỨU TÍNH CHẤT ĐIỆN HÓA  
VÀ KHẢ NĂNG KHỬ MẶN THEO CÔNG NGHỆ ĐIỆN DUNG  
CỦA VẬT LIỆU COMPOSITE TiO<sub>2</sub>/CARBON AEROGEL**

*Huỳnh Cẩm Nhung<sup>1</sup>, Tô Minh Đại<sup>2</sup>,*

*Huỳnh Lê Thanh Nguyên<sup>2</sup>, Nguyễn Thái Hoàng<sup>2</sup>, Nguyễn Thị Thu Trang<sup>1\*</sup>*

<sup>1</sup>Trường Đại học Sư phạm Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

<sup>2</sup>Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

<sup>\*</sup>Tác giả liên hệ: Nguyễn Thị Thu Trang – Email: [thutrang@hcmue.edu.vn](mailto:thutrang@hcmue.edu.vn)

Ngày nhận bài: 07-9-2023; ngày nhận bài sửa: 29-11-2023; ngày duyệt đăng: 02-12-2023

## TÓM TẮT

Có rất nhiều yếu tố ảnh hưởng đến năng suất hoạt động của siêu tụ điện và CDI như: điện cực, chất điện li (loại muối và nồng độ muối); hiệu điện thế sử dụng trong quá trình hoạt động... Trong các yếu tố trên, điện cực là yếu tố quan trọng nhất ảnh hưởng trực tiếp nên khả năng khử mặn của công nghệ CDI. Trong nghiên cứu này, chúng tôi tiến hành chế tạo vật liệu nano composite TiO<sub>2</sub>/carbon aerogel, đồng thời nghiên cứu về tính chất điện hóa và khả năng hấp phụ muối của vật liệu đã tổng hợp. Vật liệu TiO<sub>2</sub> đã tổng hợp bằng phương pháp sol-gel có cấu trúc dạng anatase, kích thước tinh thể khoảng 17,7 nm. Hàm lượng TiO<sub>2</sub> càng tăng giúp khả năng lưu trữ năng lượng và khả năng khử mặn theo công nghệ điện dung CDI tăng lên, điện dung riêng cao nhất 154 F.g<sup>-1</sup> trong dung dịch NaCl 0,5 M. Bên cạnh đó, khả năng hấp phụ muối SAC đạt được 25 mg.g<sup>-1</sup> trong dung dịch NaCl 200 ppm ở 1,4 V.

**Từ khóa:** CDI; siêu tụ điện; sol-gel; TiO<sub>2</sub>/carbon aerogel

## 1. Giới thiệu

Sự phát triển nhanh chóng của các ngành công nghiệp đã kéo theo sự tiêu thụ lượng lớn nguyên liệu hóa thạch dẫn đến tình trạng cạn kiệt, kéo theo các vấn đề kinh tế (giá cả biến động và chuỗi cung ứng không cân bằng), năng lượng sản xuất và lưu trữ, hoạt động công nghiệp và vận chuyển. Hơn nữa, việc tiêu thụ khối lượng lớn nhiên liệu hóa thạch trên toàn thế giới đã ảnh hưởng tiêu cực đến môi trường (Gonenc & Scholtens, 2017). Do đó, nhiều nghiên cứu đã xem xét cách hạn chế tiêu thụ tài nguyên hóa thạch bằng cách chuyển sang các nguồn năng lượng tái tạo. Hầu hết các năng lượng tái tạo được cung cấp dưới dạng

---

**Cite this article as:** Huỳnh Cẩm Nhung, Tô Minh Đại, Huỳnh Lê Thanh Nguyên, Nguyễn Thái Hoàng, & Nguyễn Thị Thu Trang (2024). Synthesis and investigation of the electrical characteristics and desalination potential of composite TiO<sub>2</sub>/carbon aerogel materials using capacity technology. *Ho Chi Minh City University of Education Journal of Science*, 21(2), 199-209.

điện. Như vậy, có nhu cầu lớn về một nền tảng kỹ thuật đáng tin cậy để lưu trữ điện hóa, bao gồm pin, tế bào nhiên liệu và siêu tụ điện hóa.

Theo một phân tích của Tổ chức Dân số Quốc tế (PAI), khoảng 8% dân số thế giới hiện đang bị thiếu nước trầm trọng. Đã có nhiều dự đoán rằng 2 phần 3 dân số thế giới sẽ bị khan hiếm nước ở 2025 (Hadjer et al., 2005). Gần đây, nhiều nhóm nghiên cứu đã và đang phát triển các quy trình khử muối mới để chuẩn bị cho tình trạng thiếu nước. Quy trình khử muối thông thường rất phức tạp và tốn kém. Các công nghệ thương mại phổ biến như thẩm thấu ngược (RO), thẩm tách điện (ED), chưng cất nhiệt và chưng cất tro đa tầng đã liên tục được phát triển để đạt được khả năng khử mặn hiệu quả cao hơn. Tuy nhiên, mức tiêu thụ năng lượng cao của các công nghệ này có thể khiến chúng không thực sự khả thi cho việc khử muối trong nước ở các nước đang phát triển tại châu Á, châu Mỹ Latinh và châu Phi...

Khả năng cạn kiệt nhiên liệu hóa thạch và tình trạng xâm nhập mặn, cùng việc sử dụng không kiểm soát nguồn nước tự nhiên đã dẫn đến việc nghiên cứu, phát triển các thiết bị lưu trữ năng lượng và các phương pháp khử mặn. Những năm qua, siêu tụ điện đã phát triển thành thiết bị lưu trữ năng lượng hiệu suất cao vì sự kết hợp ưu điểm của pin và tụ điện như tuổi thọ cao, công suất cao (Song, 2022). Những tiến bộ gần đây trong siêu tụ điện (Supercapacitor-SC) về mặt vật liệu điện cực giữ tiềm năng đáng kể để lấp đầy khoảng trống giữa pin và tụ điện hiện có. Trong khi đó, khử ion điện dung (CDI) được coi là một công nghệ xử lý nước đầy hứa hẹn với độ bền, tiết kiệm năng lượng và tiết kiệm chi phí, an toàn, thân thiện với môi trường, đặc biệt là khử mặn nước lợ (Shao et al., 2018).

Điện trở thấp, điện dung cao, độ dẫn điện tốt của điện cực CDI và siêu tụ điện là những yếu tố cực kỳ quan trọng để có hiệu suất khử mặn cao và lưu trữ năng lượng tốt. Một trong những hướng nghiên cứu trọng tâm hiện nay là thiết kế vật liệu điện cực tự hỗ trợ bằng cách phát triển trực tiếp các vật liệu oxide kim loại chuyển tiếp (Transitional metal oxides – TMOs) hoạt động trên carbon, kết hợp các ưu điểm và giảm thiểu những thiếu sót của cả hai thành phần để hình thành một mạng lưới dẫn điện liên tục bên trong vật liệu composite và giảm điện trở do hợp chất kim loại tạo ra. Carbon aerogel đang được xem là vật liệu thích hợp nhất trong các vật liệu carbon cho quá trình CDI vì có diện tích bề mặt riêng cao, diện tích lỗ xốp lớn, mật độ thấp, điện dung riêng cao, dẫn điện tốt và độ ổn định hóa học cao (Liu et al., 2020; Wu et al., 2004). Đặc biệt, carbon aerogel có nguồn gốc từ sinh khối cũng mở ra các con đường tổng hợp nhiều loại cấu trúc bền vững với nhiều ứng dụng có giá trị cao với lợi ích tiềm năng về môi trường, tiết kiệm chi phí, tiền chất không cạn kiệt (White et al., 2014). Trong số các oxide kim loại chuyển tiếp, titanium dioxide ( $\text{TiO}_2$ ) cũng thường được lựa chọn để làm vật liệu điện cực nhờ tính chất phong phú của chúng trong tự nhiên, tổng hợp dễ dàng, tính ổn định hóa học và hạn chế tác động tiêu cực đến môi trường (Hodaei et al., 2018; Li et al., 2017; Sobaszek et al., 2016). Do vậy, vật liệu composite  $\text{TiO}_2$ /carbon aerogel là một vật liệu tiềm năng ứng dụng làm điện cực.

Trong nghiên cứu này, chúng tôi sẽ tập trung tổng hợp vật liệu composite bằng phương pháp sol-gel, khảo sát tính chất của điện cực làm từ vật liệu TiO<sub>2</sub>/carbon aerogel nhằm góp phần cung cấp thêm những thông tin mới về phương pháp điều chế vật liệu điện cực, nâng cao hiệu quả lọc nước của hệ thống khử ion điện dung và lưu trữ năng lượng.

## 2. Thục nghiệm

### 2.1. Tổng hợp vật liệu TiO<sub>2</sub>

TiO<sub>2</sub> được tổng hợp bằng phương pháp sol-gel. Cho 2,87 mL titanium (IV) isopropoxide (98%, Sigma Aldrich) vào cốc đựng sẵn 10,0 mL dung dịch propan-2-ol (IPA, 99,7%, Sigma Aldrich) và đặt lên máy khuấy từ không gia nhiệt ở nhiệt độ phòng thí nghiệm. Thêm tiếp từng giọt 5 mL nước cất vào hỗn hợp trên, tiếp tục khuấy trong thời gian khoảng 1 giờ đến khi tạo gel. Sấy gel ở 100 °C trong 12 giờ. Sau đó, nghiền và nung sản phẩm ở 500°C trong 2 giờ. Sản phẩm sau khi nung được rửa nước cất nhiều lần bằng phương pháp lọc chân không, cuối cùng được làm khô ở 100°C trong 12 giờ.

### 2.2. Quy trình phối trộn vật liệu tạo màng điện cực TiO<sub>2</sub>/carbon aerogel

Cân TiO<sub>2</sub>, carbon aerogel, carbone black theo tỉ lệ khối lượng như Bảng 1. Cho hỗn hợp trên vào cối mã nã và nghiền đến khi hỗn hợp đồng nhất, rồi cho ra cốc thủy tinh 20mL. Sau đó ta cho dung dịch keo PVA 6%/GA (95:5) và khuấy đồng hóa 14.000 rpm hỗn hợp trong 5 đến 10 phút để tạo thành vật liệu composite. Tiếp theo ta cho thêm nước cất vào đến khi hỗn hợp có độ nhớt phù hợp. Vật liệu composite được phủ đồng nhất trên tấm graphite bằng phương pháp Doctor-blade (với độ dày màng 150 µm) kéo từ trên xuống dưới. Tấm điện cực vừa quét xong được để khô ở nhiệt độ phòng trong khoảng 1 giờ, tiếp tục sấy ở 120°C trong 4 giờ. Khối lượng điện cực là 6.00 ± 0.20 mg.cm<sup>-2</sup>.

**Bảng 1.** Tỉ lệ khối lượng TiO<sub>2</sub> và carbon aerogel của các mẫu tổng hợp

Thành phần Mẫu	Carbon aerogel	TiO <sub>2</sub>	Carbon black	Keo PVA/GA
CN01	70%	15%	5%	10%
CN02	55%	30%	5%	10%
SG01	0%	85%	5%	10%

### 2.3. Phương pháp nghiên cứu

- Phân tích cấu trúc và hình thái vật liệu

Cấu trúc của vật liệu nano TiO<sub>2</sub>/carbon aerogel được phân tích bằng phương pháp nhiễu xạ tia X (XRD, Unisantis XMD-300) nguồn bức xạ K $\alpha$  ( $\lambda = 0,154$  nm) góc từ 10° đến 70°, nhằm xác định cấu trúc tinh thể, thành phần phase và kích thước tinh thể trung bình của các hạt TiO<sub>2</sub>/carbon aerogel. Phổ Raman cho biết các thông tin về liên kết trong mẫu vật liệu và được ghi lại bằng RM 2000 máy quang phổ Raman hội tụ kính hiển vi (Renishaw PLC, Vương quốc Anh) với laser 633 nm. Hình thái bề mặt và kích thước hạt của các mẫu được quan sát bằng phương pháp SEM- scanning electron microscope sử dụng thiết bị JSM-7500F (Mĩ) điện thế gia tốc 10 kV. Phổ tán xạ năng lượng tia X (EDX-Energy-dispersive X-ray spectroscopy) sẽ cho thông tin về các nguyên tố hóa học có mặt trong mẫu đồng thời cho các thông tin về tỉ lệ các nguyên tố này được ghi nhận trên máy JED-2300 - JEOL (Nhật Bản).

- *Các phương pháp phân tích điện hóa*

Điện cực TiO<sub>2</sub>/carbon aerogel được khảo sát bằng hệ 3 điện cực gồm điện cực làm việc (working electrode-WE) là điện cực composite đã tổng hợp được, điện cực so sánh (reference electrode-RE) Ag/AgCl (KCl 3,5 M) và điện cực đối (counter electrode-CE) tấm platinum trong dung dịch điện ly NaCl 0,5 M, với hệ điện hoá Gamry Interface 1010T (Mỹ). Phổ tổng trở điện hóa EIS sử dụng dải tần số rộng ( $10^2 \sim 10^5$  Hz). Phương pháp quét thế vòng tuần hoàn (CV) khảo sát ở khoảng thế 0 V đến 1 V, tốc độ quét: 5 mV.s<sup>-1</sup>, 10 mV.s<sup>-1</sup>, 25mV.s<sup>-1</sup>, 50 mV.s<sup>-1</sup>, 75 mV.s<sup>-1</sup>, 100 mV.s<sup>-1</sup>. Điện dung riêng (C<sub>sp</sub>) được xác định dựa vào phương trình (1):

$$C_{sp} = \frac{\int IdE}{2 \times m \times v \times \Delta E} \quad (1)$$

trong đó,  $\int IdE$  là diện tích hình học của đường cong CV, m là khối lượng điện cực (g), v là tốc độ quét thế (V.s<sup>-1</sup>),  $\Delta E$  là khoảng quét thế (V).

Tiến hành đo dung lượng hấp phụ dung dịch muối NaCl có nồng độ 200 ppm được bơm tuần hoàn với tốc độ dòng không đổi là 30 mL.phút<sup>-1</sup>, điện thế từ 1-1,6 V được áp vào hai cực của tế bào CDI. Hệ đo CDI bao gồm một tế bào CDI (gồm một cặp điện cực được đặt đối xứng nhau và được phân tách bằng tấm đệm. Kích thước của điện cực là 2.5 cm × 3 cm, độ dày 150 μm), bơm nhu động, máy đo độ dẫn (Hanna), máy đo điện hóa đa năng opensense. Mối quan hệ giữa độ dẫn điện và nồng độ thu được từ đường cong hiệu chuẩn trước đó. Để tính khả năng hấp phụ muối (SAC tính bằng mg.g<sup>-1</sup>) và tốc độ hấp phụ muối trung bình (ASAR tính bằng mg.g<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup>) tương ứng với các phương trình (2) và (3) sau đây:

$$SAC = \frac{C_0 - C}{m} \times V \quad (2)$$

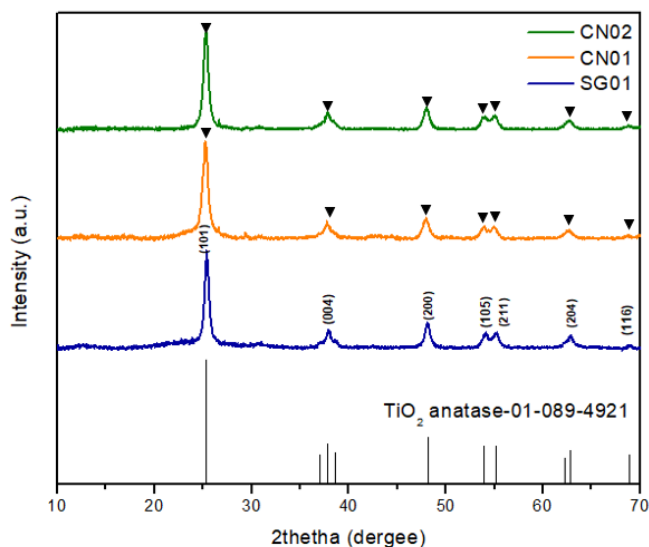
$$ASAR = \frac{SAC}{t} \quad (3)$$

trong đó, C<sub>0</sub> và C là nồng độ đầu và nồng độ cuối của dung dịch NaCl (mg.L<sup>-1</sup>), m là khối lượng điện cực hoạt động (g), V là thể tích dung dịch NaCl (L), t là thời gian của quá trình khử mặn (s).

### 3. Kết quả và thảo luận

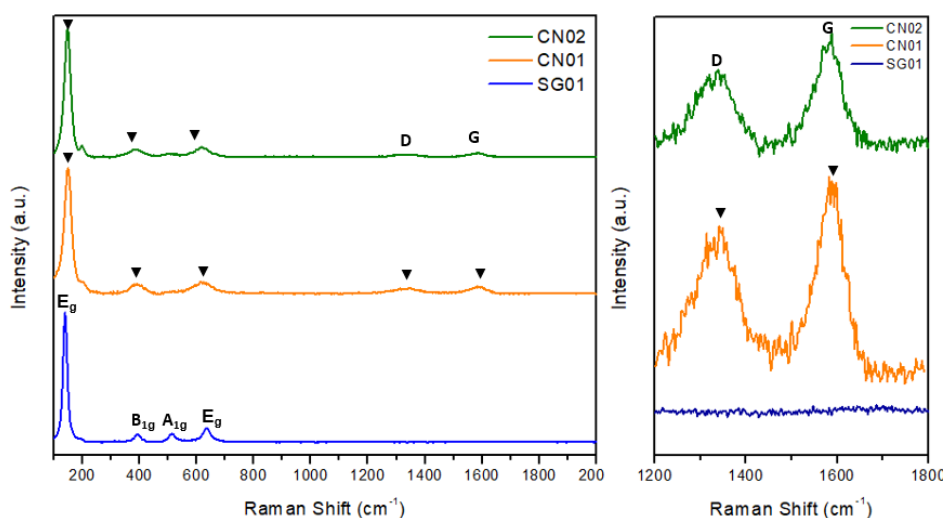
#### 3.1. Kết quả hình thái, cấu trúc

Giản đồ XRD được dùng để xác định cấu trúc phase của mẫu TiO<sub>2</sub> thu được. Mẫu vật liệu có cấu trúc tương đồng với giản đồ chuẩn TiO<sub>2</sub> (ICSD-01- 0894921). Trên Hình 1, xuất hiện các đỉnh nhiễu xạ đặc trưng với cường độ mạnh, peak sắc nhọn ở các góc  $2\theta \approx 25,3^\circ$ ;  $37,8^\circ$ ;  $48,1^\circ$ ;  $54,01^\circ$ ;  $55,1^\circ$  được quy kết cho các mặt mạng (101); (004); (200); (105); (211) của TiO<sub>2</sub> phase anatase. Mẫu TiO<sub>2</sub> tổng hợp được đạt kích thước nano với kích thước tinh thể trung bình khoảng 17,7 nm. Các đỉnh của carbon aerogel không quan sát thấy trong các mẫu vật liệu CN01, CN02 có thể do các đỉnh đặt trung (002) ở  $23,6^\circ$  đã bị che khuất bởi đỉnh đặt trung của TiO<sub>2</sub> (101) ở  $25,3^\circ$  và mức độ tinh thể hóa của carbon aerogel ban đầu không cao.



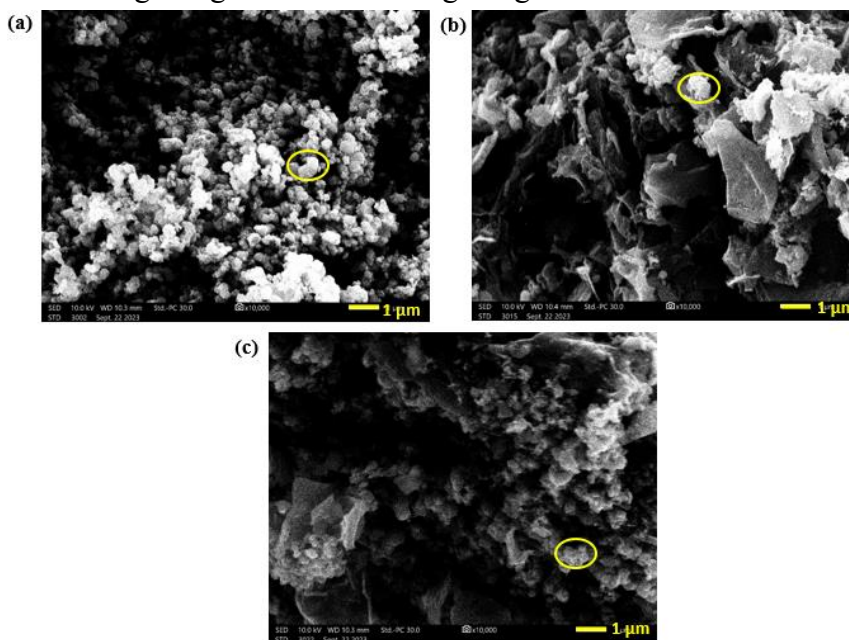
**Hình 1.** Giản đồ XRD của mẫu SG01, CN01, CN02

Để khảo sát rõ hơn về các liên kết trong vật liệu tổng hợp được, chúng tôi sử dụng phương pháp đo phổ Raman. Kết quả phổ Raman của vật liệu SG01 (Hình 2) khẳng định sự có mặt của phase anatase ở đỉnh dao động đặc trưng 138, 393, và 514 và 638  $\text{cm}^{-1}$  đặc trưng cho dao động  $E_g$ ,  $B_{1g}$ ,  $A_{1g}$ , và  $E_g$  tương ứng. Đỉnh  $B_{1g}$  ở vùng 393  $\text{cm}^{-1}$  có thể được dùng để mô tả cho liên kết Ti – O. Phổ Raman của vật liệu CN01, CN02 cũng có các đỉnh dao động đặc trưng của  $\text{TiO}_2$  anatase ở vùng tần số thấp ( $100\text{-}800 \text{ cm}^{-1}$ ) và có dịch chuyển so với SG01 được quy kết cho sự có mặt của carbon aerogel, mẫu CN02 với hàm lượng  $\text{TiO}_2$  lớn hơn có sự dịch chuyển nhiều hơn. Hơn nữa, trong các mẫu CN01, CN02 có hai đỉnh rộng cường độ cao được quan sát thấy ở vùng tần số ( $1200\text{-}1700\text{cm}^{-1}$ ) được gán cho đỉnh D và G của carbon aerogel. Đỉnh G sinh ra từ mạng graphite đặc trưng cho tính trật tự của cấu trúc gồm các nguyên tử carbon sắp xếp dạng vòng 6 cạnh, trong khi đỉnh D lại đặc trưng cho các khuyết tật trong cấu trúc carbon aerogel. Hàm lượng  $\text{TiO}_2$  càng nhiều thì tín hiệu đỉnh D và G càng giảm.



**Hình 2.** Kết quả Raman của các mẫu vật liệu SG01, CN01, CN02

Hình 3 mô tả kết quả SEM của mẫu vật liệu đã tổng hợp.  $\text{TiO}_2$  tinh khiết có dạng hình cầu, kết tụ thành từng đám, kích thước hạt không đồng đều, dao động trong khoảng từ 200-700 nm. Từ Hình 3b và 3c cho thấy đã có sự phân tán  $\text{TiO}_2$  thành từng cụm trên carbon aerogel với các khoảng trống kích thước không đồng đều.

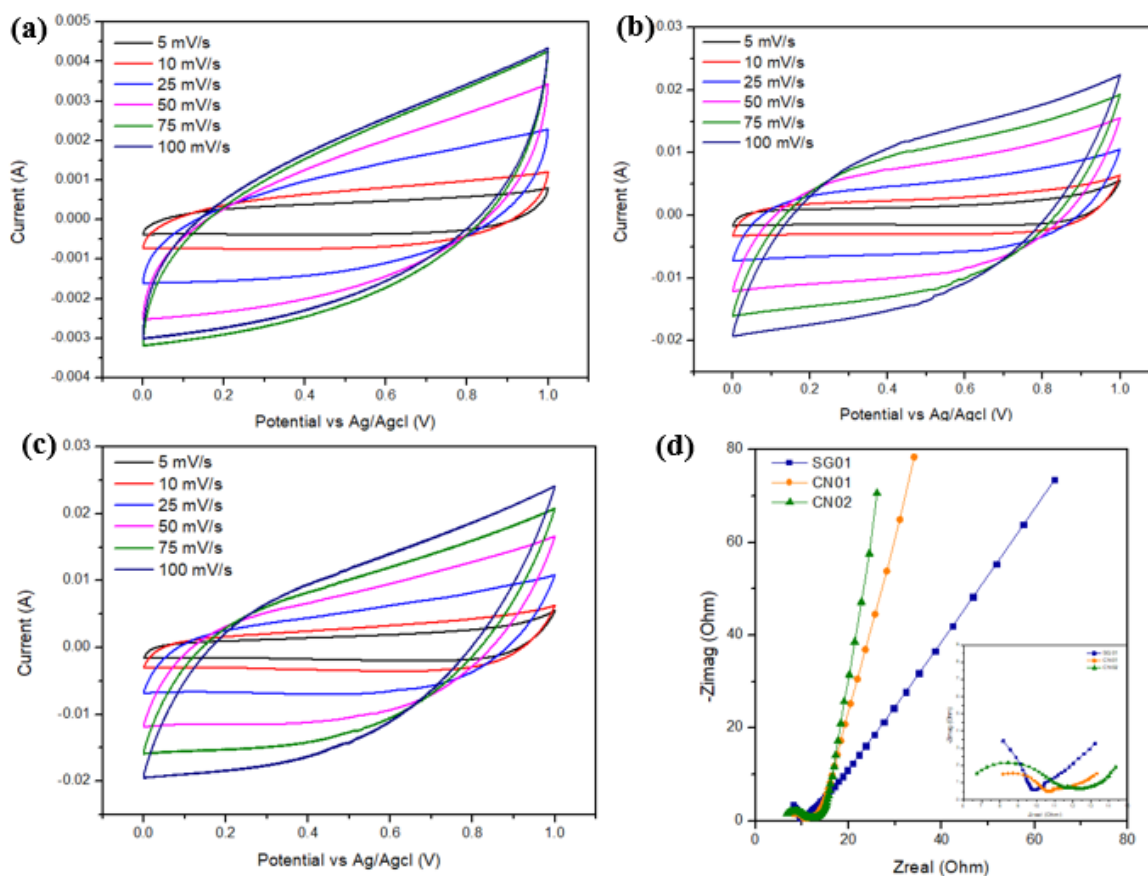


**Hình 3.** Ảnh SEM của vật liệu SG01 (a), CN01(b) và CN02 (c) ở độ phóng đại  $\times 10000$

### 3.2. Kết quả tính chất điện hóa

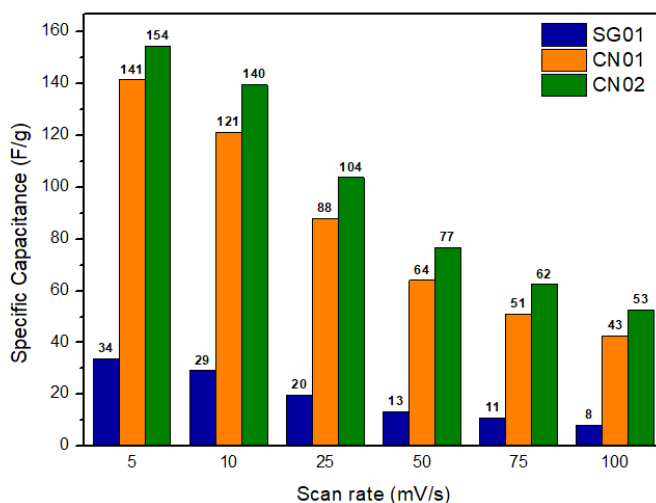
Kết quả đo CV của các mẫu vật liệu được mô tả ở hình 4a, b, c. Ở các tốc độ quét, hình dạng đường CV đặc trưng vốn có không có các đỉnh oxy hóa khử cho thấy có sự xuất hiện lớp kép và sự hấp phụ của các ion có trong dung dịch trên bề mặt của điện cực, các ion đã di chuyển trên bề mặt  $\text{TiO}_2$ /carbon aerogel bằng tương tác tĩnh điện để tạo thành lớp điện kép (EDL), lỗ trống có thể hoạt động như các vị trí hoạt động điện hóa và điện dung riêng ( $C_{sp}$ ) được hình thành do điện dung cả hai lớp.

Hình 4d mô tả phổ EIS của vật liệu khi hoạt động trong dung dịch NaCl 0,5 M, có thể thấy các mẫu đều không có cung tròn chuyển điện tích. Vì vậy, cần đo ở vùng tần số cao hơn để khảo sát khả năng chuyển điện tích của các mẫu. Kết quả cho thấy các vật liệu đã tổng hợp đều hoạt động theo cơ chế tích điện bề mặt. Khi quan sát vùng tần số thấp của phổ EIS, CN02 là vật liệu có độ dốc cung khuếch tán cao nhất, thể hiện đây là vật liệu có khả năng khuếch tán điện tích tốt. .



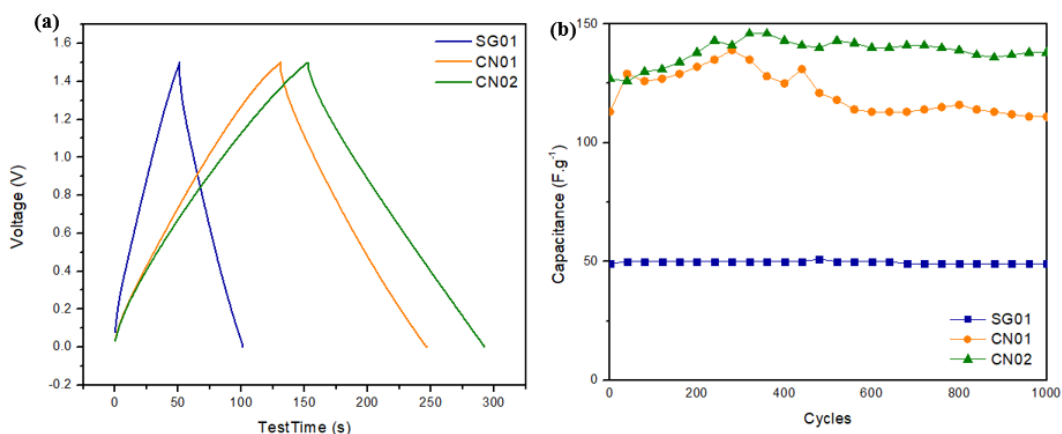
**Hình 4.** Đồ thị quét thế vòng tuần hoàn tại các tốc độ quét khác nhau trong dung dịch NaCl 0,5 M của (a) SG01; (b) CN01; (c) CN02 và đường cong Nyquist của điện cực SG01, CN01 và CN02 tại nhiệt độ phòng trong dung dịch NaCl 0,5 M (d)

Khả năng tích điện của các mẫu vật liệu  $\text{TiO}_2$ /carbon aerogel tốt hơn so với mẫu  $\text{TiO}_2$  tinh khiết (Hình 5). Ở  $5\text{mV}\cdot\text{s}^{-1}$ , điện dung mẫu SG01 có thể đạt được là  $34\text{ F}\cdot\text{g}^{-1}$ , trong khi điện dung của mẫu CN02 đạt giá trị điện dung lên đến  $154\text{ F}\cdot\text{g}^{-1}$  trong dung dịch NaCl 0,5 M cao nhất trong các mẫu. Ở các tốc độ khác nhau, điện dung của CN01 và CN02 thu được tiếp tục cao hơn của mẫu SG01. Nhận thấy, kết hợp  $\text{TiO}_2$  và carbon aerogel giúp tăng cường khả năng tích điện trên bề mặt vật liệu. Điện dung riêng đạt giá trị lớn nhất ở tốc độ quét thấp nhất và mẫu CN02 có giá trị điện dung riêng cao nhất **chủ yếu là do hàm lượng  $\text{TiO}_2$  cao hơn cung cấp thêm pseudocapacitance.**



**Hình 5.** Điện dung của mẫu SG01, CN01, CN02 trong dung dịch NaCl 0,5 M

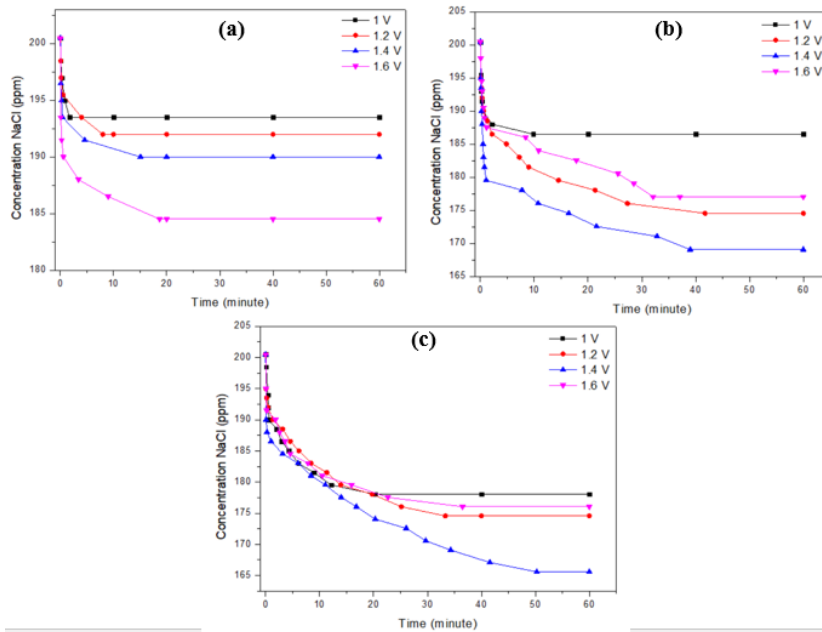
Quan sát Hình 6a nhận thấy, các đường cong phóng nạp của vật liệu có dạng tam giác, có điểm thể rơi khi bắt đầu quá trình xả. Điện cực sử dụng mẫu vật liệu SG01 có thời gian phóng nạp ngắn nhất, mẫu vật liệu CN02 có thời gian phóng nạp lâu nhất, gấp 2,89 lần SG01. Kết quả đo phóng nạp phù hợp với kết quả đo CV ở Hình 5. Sau 1000 chu kỳ sạc/xả (Hình 6b), điện dung cao nhất của các mẫu SG01, CN01, CN02 lần lượt là 34, 93, 97 F.g<sup>-1</sup>. Điện dung của các mẫu vật liệu TiO<sub>2</sub>/carbon aerogel khá cao, đều cao hơn mẫu SG01 và cao nhất là mẫu CN02. Việc kết hợp TiO<sub>2</sub> và carbon aerogel góp phần nâng cao khả năng tích điện của vật liệu điện cực. Các mẫu SG01 và CN02 khá ổn định qua các chu kỳ.



**Hình 6.** Đường cong phóng nạp tại mật độ dòng điện 1 A.g<sup>-1</sup> (a); độ bền phóng nạp (b) với mật độ dòng điện 1 A.g<sup>-1</sup> ở điện thế 1.5 V của các mẫu SG01, CN01, CN02

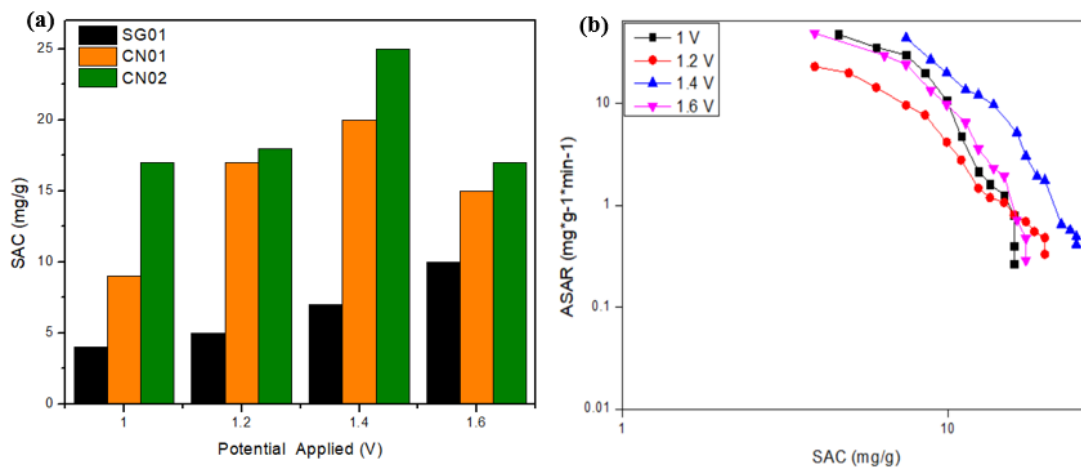
Hình 7 mô tả sự thay đổi của nồng độ NaCl 200 ppm theo thời gian của quá trình hấp phụ muối tại các điện thế khác nhau. Ta có thể thấy khả năng hấp phụ muối đã bão hòa sau 60 phút. Đồ thị cho thấy được CN02 có nồng độ muối sau quá trình hấp phụ giảm nhiều hơn so với hai mẫu CN01 và SG01, đặc biệt là ở điện thế 1,4 V hấp phụ nồng độ muối lớn nhất trong các điện thế có thể giải thích ở điện thế cao (> 1,4 V) xảy ra quá trình điện phân nước, gây cản trở quá trình khử mặn của vật liệu điện cực.





**Hình 7.** Các đồ thị hấp phụ muối của các mẫu SG01 (a), CN01 (b), CN02 (c) trong dung dịch NaCl 200 ppm với các điện thế khác nhau

Dung lượng muối hấp phụ SAC của các mẫu ở vùng thế 1,0 V, 1,2 V, 1,4 V, 1,6 V được mô tả ở Hình 8a. Nhìn chung, dung lượng hấp phụ muối của mẫu vật liệu CN02 tương đối tốt. Điều này chứng minh rằng việc thêm kết hợp TiO<sub>2</sub> và carbon aerogel là hoàn toàn phù hợp ứng dụng trong công nghệ CDI. Biểu đồ CDI Ragone hình 8b mô tả mối quan hệ giữa dung lượng hấp phụ muối SAC và tốc độ hấp phụ muối trung bình ASAR, thường được vẽ để đánh giá hiệu suất khử muối tổng thể của điện cực CDI. CN02 hoạt động ở thế 1,4V có SAC cao nhất và ASAR nhanh nhất, biểu hiện ở việc đường cong SAC/ASAR của thế 1,4 V ở cao nhất về góc phải của giản đồ. Tốc độ hấp phụ muối của CN02 ở các vùng thế được sắp xếp theo thứ tự giảm dần như sau 1,4 V, 1,2 V, 1,6 V, 1 V.



**Hình 8.** Đồ thị biểu diễn SAC theo các thế khác nhau của các mẫu (a) và giản đồ CDI Ragone của điện cực CN02 200 ppm NaCl tại các điện thế (b).

#### 4. Kết luận

Trong bài báo này, chúng tôi đã chế tạo thành công vật liệu TiO<sub>2</sub>/carbon aerogel, trong đó TiO<sub>2</sub> cấu trúc phase anatase được tổng hợp bằng phương pháp sol-gel. Việc kết hợp TiO<sub>2</sub> và carbon aerogel tăng khả năng tích điện của vật liệu. Khả năng lưu trữ năng lượng và khử mặn theo công nghệ điện dung CDI tăng khi tăng hàm lượng TiO<sub>2</sub> trong mẫu tăng, vật liệu CN02 khi hoạt động ở tốc độ 5mV.s<sup>-1</sup> đạt được điện dung riêng lên đến 154 F.g<sup>-1</sup> (trong dung dịch NaCl 0,5 M ở khoảng thế 1 V), sau 1000 chu kì thì hiệu suất sạc/xả giảm khoảng 5,5%, khả năng hấp phụ muối lên đến 25 mg.g<sup>-1</sup> tại điện thế 1,4 V trong dung dịch NaCl 200 ppm.

- ❖ **Tuyên bố về quyền lợi:** Các tác giả xác nhận hoàn toàn không có xung đột về quyền lợi.
- ❖ **Lời cảm ơn:** Nghiên cứu này được tài trợ bởi Sở Khoa học và Công nghệ Thành phố Hồ Chí Minh thông qua hợp đồng số: 42/2021/HĐ-QKHCN.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Gonenc, H., & Scholtens, B. (2017). Environmental and financial performance of fossil fuel firms: A closer inspection of their interaction. *Ecological Economics*, 132, 307-328. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.10.004>
- Hadjer, K., Klein, T., & Schopp, M. (2005). Water consumption embedded in its social context, north-western Benin. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 30(6-7), 357-364. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2005.06.014>
- Hodaei, A., Dezfuli, A. S., & Naderi, H. R. (2018). A high-performance supercapacitor based on N-doped TiO<sub>2</sub> nanoparticles. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 29, 14596-14604. <https://doi.org/10.1007/s10854-018-9595-x>
- Li, T., Wu, Y., Wang, Q., Zhang, D., Zhang, A., & Miao, M. (2017). TiO<sub>2</sub> crystalline structure and electrochemical performance in two-ply yarn CNT/TiO<sub>2</sub> asymmetric supercapacitors. *Journal of Materials Science*, 52, 7733-7743. <https://doi.org/10.1007/s10853-017-1033-6>
- Liu, Z., Tian, D., Shen, F., Nnanna, P. C., Hu, J., Zeng, Y., Yang, G., He, J., & Deng, S. (2020). Valorization of composting leachate for preparing carbon material to achieve high electrochemical performances for supercapacitor electrode. *Journal of Power Sources*, 458, Article 228057. <http://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2020.228057>
- Shao, Y., El-Kady, M. F., Sun, J., Li, Y., Zhang, Q., Zhu, M., Wang, H., Dunn, B., & Kaner, R. B. (2018). Design and mechanisms of asymmetric supercapacitors. *Chemical reviews*, 118(18), 9233-9280. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.8b00252>
- Sobaszek, M., Siuzdak, K., Sawczak, M., Ryl, J., & Bogdanowicz, R. (2016). Fabrication and characterization of composite TiO<sub>2</sub> nanotubes/boron-doped diamond electrodes towards enhanced supercapacitors. *Thin Solid Films*, 601, 35-40. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2015.09.073>
- Song, Z. (2022). Battery/Supercapacitor hybrid energy storage system in vehicle applications. In *Microsupercapacitors* (pp. 165-192). Elsevier.

- White, R. J., Brun, N., Budarin, V. L., Clark, J. H., & Titirici, M. M. (2014). Always look on the “light” side of life: sustainable carbon aerogels. *ChemSusChem*, 7(3), 670-689. <https://doi.org/10.1002/cssc.201300961>
- Wu, D., Fu, R., Zhang, S., Dresselhaus, M. S., & Dresselhaus, G. (2004). The preparation of carbon aerogels based upon the gelation of resorcinol–furfural in isopropanol with organic base catalyst. *Journal of non-crystalline solids*, 336(1), 26-31. <https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2003.12.051>

---

**SYNTHESIS AND INVESTIGATION OF THE ELECTRICAL CHARACTERISTICS AND DESALINATION POTENTIAL OF COMPOSITE TiO<sub>2</sub>/CARBON AEROGEL MATERIALS USING CAPACITY TECHNOLOGY**

**Huynh Cam Nhung<sup>1</sup>, To Minh Dai<sup>2</sup>,**

**Huynh Le Thanh Nguyen<sup>2</sup>, Nguyen Thai Hoang<sup>2</sup>, Nguyen Thi Thu Trang<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Ho Chi Minh City University of Education, Vietnam

<sup>2</sup>University of Science, Vietnam National University Ho Chi Minh City, Vietnam

\*Corresponding author: Nguyen Thi Thu Trang – Email: [thutrang@hcmue.edu.vn](mailto:thutrang@hcmue.edu.vn)

Received: September 07, 2023; Revised: November 29, 2023; Accepted: December 02, 2023

**ABSTRACT**

The performance of supercapacitors and capacitive deionization (CDI) is influenced by various parameters, including the characteristics of the electrodes, the electrolyte composition (namely the type of salt and its concentration), and the applied voltage during operation. Out of the aforementioned factors, the electrode emerges as the paramount determinant that exerts a direct influence on the desalination efficacy of Capacitive Deionization (CDI) technology. This study involved the fabrication of TiO<sub>2</sub>/carbon aerogel nanocomposite materials, followed by an investigation into the electrochemical characteristics and salt adsorption capacity of the produced materials. The TiO<sub>2</sub> material generated using the sol-gel process exhibits a structure similar to anatase, with a crystal size of around 17.7 nm. The augmentation of TiO<sub>2</sub> has been found to enhance both the energy storage capacity and desalination capacity in relation to the rise in CDI capacitance technology. Notably, the maximum specific capacitance recorded was 154 F.g<sup>-1</sup> in a 0.5 M NaCl solution. Furthermore, the adsorption capacity of the SAC salt was determined to be 25 mg.g<sup>-1</sup> when exposed to a 200 ppm NaCl solution at a voltage of 1.4 V.

**Keywords:** capacitive deionization; supercapacitors; sol-gel; TiO<sub>2</sub>/carbon aerogel