

NGHIÊN CỨU KHẢ NĂNG TÍCH TRỮ NĂNG LƯỢNG CỦA VẬT LIỆU NANO CARBON CHẾ TẠO TỪ THAN ĐÁ

Đỗ Trà Hương^{1,*}, Hà Xuân Linh², Nguyễn Văn Tú³, Trần Quốc Toàn¹, Nguyễn Thị Thu Hà¹

¹*Khoa Hóa học, Trường Đại học Sư phạm, Đại học Thái Nguyên*

²*Khoa Quốc tế, Đại học Thái Nguyên*

³*Viện Hóa học Vật liệu, Viện Khoa học và Công nghệ Quân sự*

**Email: huongdt.chem@tnue.edu.vn*

TÓM TẮT

Bài báo này giới thiệu về chế tạo và nghiên cứu khả năng tích trữ năng lượng của điện cực nano carbon chế tạo từ than đá (điện cực CNN). Điện cực CNN có điện dung riêng còn 65,35% so với điện dung riêng ở chu kỳ 1 sau 1.000 CV, điện dung riêng là 253 F/g ở mật độ dòng điện là 0,1 A/g. Phổ tổng trở cho thấy, điện trở chuyển điện tích nhỏ (R_{ct}) bằng 2,15 Ω . Khi nghiên cứu tính chất điện hóa của điện cực CNN là anode trong cell pin Li - ion cho thấy khả năng lưu trữ tốt ion Li^+ , dung lượng riêng của pin (Li - ion) tại mật độ dòng tiêu chuẩn C/10 là 306,0 mAh/g, tại mật độ dòng C/20 là 435,5 mAh/g. Cell pin Li - ion sau khi phóng điện có điện trở chuyển điện tích R_{ct} nhỏ. Những kết quả này cho thấy, có thể ứng dụng điện cực CNN làm anode trong pin Li - ion. Nghiên cứu sâu hơn có thể tập trung vào việc tối ưu hóa quy trình chế tạo và khám phá các ứng dụng bổ sung cho các vật liệu điện cực mới này.

Từ khóa: Nano carbon than đá, siêu tụ điện, anot, pin lithium-ion, phương pháp Hummer.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Năng lượng là một vấn đề quan trọng được toàn cầu quan tâm vì sự ảnh hưởng lớn đến hầu hết ngành công nghiệp, nông nghiệp, du lịch,...và đời sống của con người. Ngày nay, nhiều lĩnh vực công nghệ như: Vận chuyển, điện tử cầm tay, thiết bị y tế, dụng cụ điện và lưu trữ điện do các nguồn tái tạo liên tục (gió, mặt trời, thủy triều,...), pin laptop, pin xe đạp, ô tô điện... phát triển mạnh mẽ, nhu cầu sử dụng pin nạp lại ngày càng tăng. Thời gian pin nạp lại sử dụng càng lâu là điều mong muốn của người sử dụng. Vì vậy, các nhà nghiên cứu luôn tìm ra các giải pháp cải tiến khả năng lưu trữ năng lượng của pin, giúp tuổi thọ của pin cao hơn. Pin nạp lại pin Li - ion (LIB, Li - ion) hiện đang được quan tâm tới như là một trong những giải pháp lưu trữ năng lượng tối ưu vì pin có mật độ năng lượng cao và cơ chế phản ứng tương đối đơn giản. Bên cạnh đó, graphite cũng được sử dụng làm vật liệu anode cho pin Li - ion thương mại bởi vì chu kỳ sống dài và giá thành rẻ. Tuy nhiên, graphite có dung lượng riêng nhỏ nên bị hạn chế ứng dụng trong các thiết bị đòi hỏi lưu trữ năng

lượng cao. Do đó, chế tạo các vật liệu anode mới để khắc phục nhược điểm trên là một vấn đề mang tính thời sự, thực tiễn cao.

Thời gian gần đây việc tổng hợp vật liệu nano thân thiện môi trường như nano carbon đi từ nguồn than đá được nhiều nhà nghiên cứu trên thế giới quan tâm, do quy trình không quá phức tạp, giá thành đầu tư thấp [1 - 8]. Hiện nay trong nước mới chỉ có Nguyễn Thị Thúy Hằng và cs (2023) [9] nghiên cứu chế tạo vật liệu carbon từ than đá Anthracite (Vàng Danh, tỉnh Quảng Ninh), hoạt hóa bằng NaOH và nung ở nhiệt độ 800, 1.000, 1.200°C trong 3 giờ (ATC). Kết quả cho thấy, vật liệu ATC có khả năng sử dụng làm anode trong pin Li - ion với tính thuận nghịch, khả năng duy trì dung lượng vượt trội, dung lượng pin là 286,3 mAh/g. Chính vì vậy, bài báo này đã ứng dụng vật liệu nano carbon chế tạo từ than đá của mỏ than Phấn Mễ, huyện Phú Lương, tỉnh Thái Nguyên theo phương pháp Hummer, làm điện cực anode trong pin Li - ion. Điện cực anode chế tạo dùng chất kết dính Polyme Polyvinylidene fluoride (PVDF), dung môi N-methylpyrrolidine, chất dẫn điện là graphite và carbon nanotube. Điện cực sau

khi chế tạo nghiên cứu khả năng tích trữ năng lượng trong siêu tụ điện và nghiên cứu khả năng tích thoát ion Li^+ , dung lượng của pin Li - ion khi làm anode trong pin Li - ion.

2. THỰC NGHIỆM

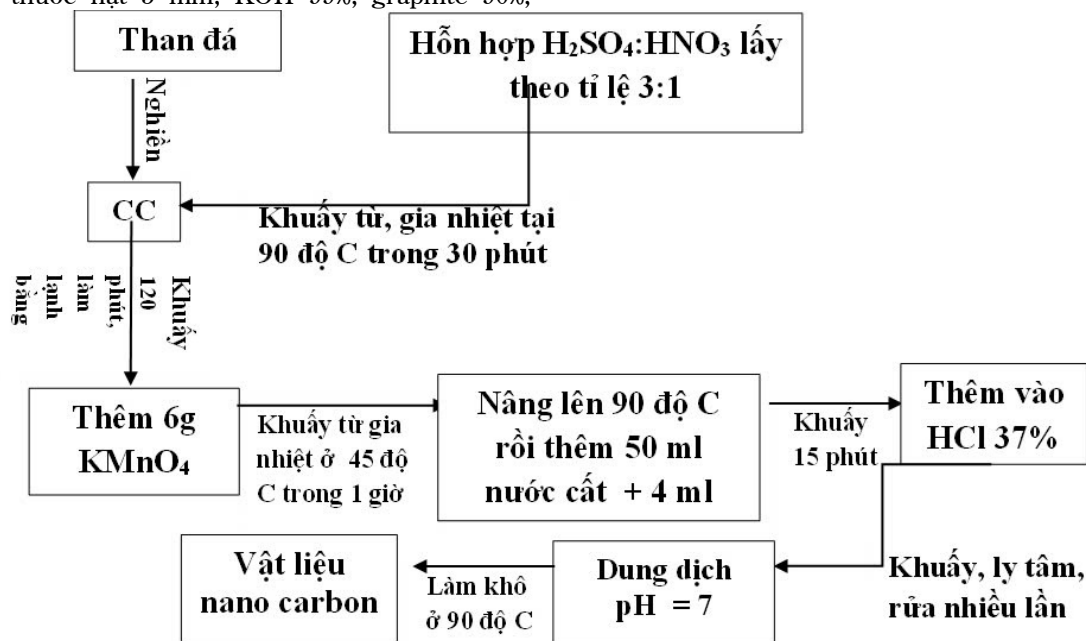
2.1. Dụng cụ, hóa chất

- H_2SO_4 95%; H_3PO_4 85%; KMnO_4 99%; HCl 36%; H_2O_2 30%; Graphite 95%; carbon nanotube 90%; dung môi N - methylpyrrolidine 98%; chất kết dính polyme polyvinylidene fluoride (PVDF) dạng hạt, kích thước hạt 5 mm; KOH 99%; graphite 90%;

carbon nanotube 98%; lưới ni xốp 98%; dung dịch LiPF_6 1M pha trong dung môi ethylene carbonate: Dimethyl carbonate: Ethyl methyl carbonate theo tỷ lệ 1: 1: 1 về thể tích 98% các hóa chất được nhập từ hãng Merck (Đức).

2.2. Chế tạo vật liệu carbon

Vật liệu nano carbon xốp hiệu là NCC (Nano carbon from coal) được chế tạo từ than đá được mô tả chi tiết theo nghiên cứu của Do và cs (2024) [10]. Quy trình chế tạo được thể hiện trong hình 1.



Hình 1. Sơ đồ chế tạo vật liệu CNN

2.3. Chế tạo điện cực CNN và cell pin Li - ion

Điện cực CNN chế tạo theo quy trình như hình 2.

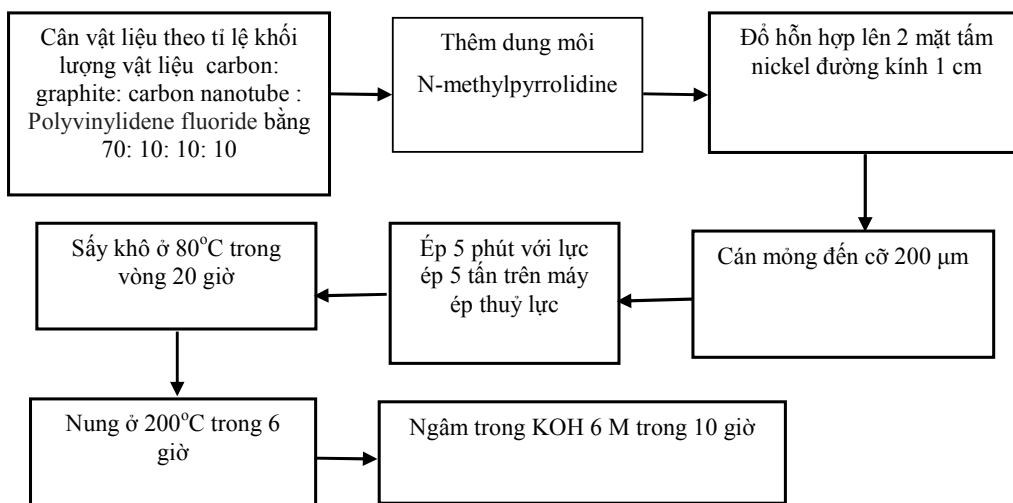
Điện cực CNN được chế tạo tại Trung tâm Thí nghiệm - Thực hành, Trường Đại học Khoa học, Đại học Thái Nguyên.

Điện cực CNN sau đó được chế tạo thành cell pin Li - ion. Cell pin Li - ion được chế tạo trong hệ thống glovebox trong môi trường khí argon tại Viện Hóa học Vật liệu, Viện Khoa học và Công nghệ Quân sự. Chế tạo pin theo thứ tự như sau: Lớp vỏ pin > anode > lớp màng ngăn > cathode (phôi Li) > miếng đệm > vòng đệm > nắp pin trên máy ép pin MSK - 110 (Trung Quốc). Điện cực anode CNN để tạo thành pin có đường kính 16

mm trong dung dịch điện ly LiPF_6 1M pha trong dung môi Ethylene Carbonate: Dimethyl carbonate: Ethyl methyl carbonate theo tỷ lệ 1: 1: 1 về thể tích. Sau đó cell pin Li - ion được giữ ở nơi khô ráo và sạch sẽ trong 12 giờ trước khi đo các tính chất điện hóa của pin.

Các phép đo điện hóa của điện cực CNN đánh giá khả năng lưu trữ năng lượng được thực hiện trên hệ điện hóa Autolab PGSTAT100 của Hà Lan tại Trường Đại học Sư phạm, Đại học Thái Nguyên.

Các phép đo quét thế vòng đa chu kỳ, phóng/ nạp bằng dòng không đổi, tổng trở của cell pin Li-ion được tiến hành trên thiết bị BaSyTec CTS - LAB (Đức), tại Viện Hóa học, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.



Hình 2. Quy trình chế tạo điện cực CNN

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.1. Đặc trưng vật lý, hóa lý của điện cực CNN

Các đặc trưng vật lý, hóa lý như: SEM, TEM, EDX, TGA, XRD, raman, BET của vật liệu CNN được trình bày chi tiết trong nghiên cứu của Do và cs (2024) [10].

3.2. Khả năng lưu trữ năng lượng của CNN

3.2.1. Quét thế vòng đa chu kỳ (CV)

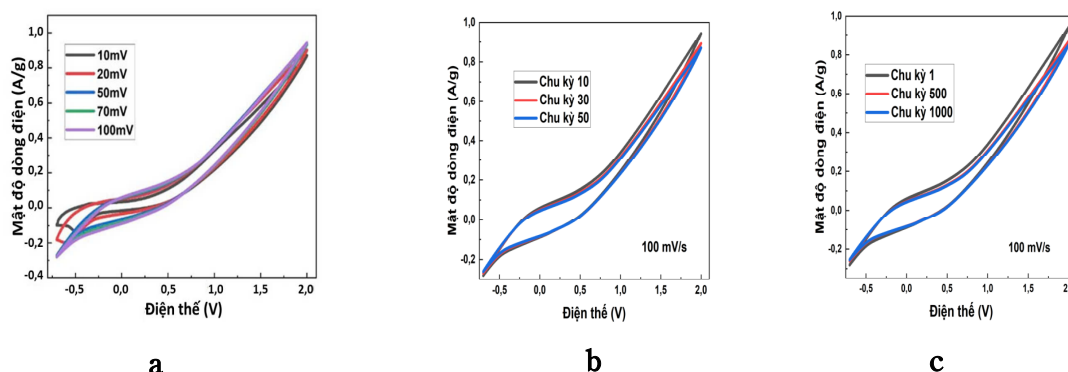
Điện cực CNN được hoạt hoá bằng quét thế vòng đa chu kỳ với vận tốc quét thế 10 - 100 mV/s. Sau 50 chu kỳ, điện cực CNN lại tiếp tục được quét CV đến 1.000 chu kỳ, với vận tốc quét thế 100 mV/s. Phép đo CV được đo trong khoảng thế từ - 0,7 đến 2,0 V. Khi vận tốc quét thế thay đổi từ 10 - 70 mV/s thì mật độ dòng nạp tăng dần và mật độ phóng tăng dần. Điều này cũng xảy ra

tương tự tại các chu kỳ 10 - 50 khi giữ nguyên vận tốc quét 100 mV/s (Hình 3b). Tuy nhiên, tại chu kỳ 500 và 1.000 thì mật độ dòng nạp và mật độ dòng phóng đều giảm (Hình 3c). Chứng tỏ điện dung riêng (C) của điện cực CNN giảm dần theo số chu kỳ phóng nạp.

Từ phương pháp CV tính được điện dung riêng của điện cực C (F/g) theo công thức sau:

$$C = \frac{\int_{E_i}^{E_f} I(E) dE}{2mv(E_f - E_i)}$$

Trong đó: m là khối lượng của vật liệu CPD (g); v là tốc độ quét thế (mV/s); (E_f - E_i) là khoảng điện thế; $\int_{E_i}^{E_f} I(E) dE$ là điện tích tích hợp trong đồ thị.



Hình 3. (a) Phổ CV của CNN với vận tốc quét 10 - 100 mV/S; (b) Phổ CV tại 10, 30, 50 chu kỳ; (c) Phổ CV tại 1, 500, 1.000 chu kỳ

Hình 3c cho thấy, điện dung riêng ban đầu của điện cực CNN là 8,389 F/g, sau 500 chu kỳ phóng nạp còn 6,064 F/g, sau 1.000 chu kỳ phóng nạp còn 5,483 F/g. Như vậy, sau 500 chu kỳ, điện dung riêng của CNN còn 72,28%, sau 1.000 chu kỳ còn 65,35% so với điện dung riêng ở chu kỳ 1. Kết quả tính được cho thấy, sự hoạt động ổn định của CNN, đồng thời CNN có điện dung riêng cao hơn điện cực CDCP ở cùng chu kỳ phóng nạp [10]. Điện cực CDCP là điện cực chế tạo từ vật liệu carbon từ than đá Phấn Mễ, huyện Phú Lương, tỉnh Thái Nguyên theo phương pháp Hummer cải tiến, nhưng sử dụng dung môi là butyl acetate, chất kết dính polyvinyl alcohol (PVA), chất dẫn điện là graphite, carbon nanotube. Điện cực có tỷ lệ khối lượng CDPC: Graphite: carbon nanotube: chất kết dính PVA bằng 70: 10: 10: 10 và điện cực sau khi chế tạo không nung ở nhiệt độ 200°C trong 6 giờ. Điện dung riêng ban đầu của điện cực CDPC là 6,083 F/g, sau 500 chu kỳ phóng nạp còn 4,738 F/g, sau 1.000 chu kỳ phóng nạp còn 4,548 F/g [10].

3.2.2. Phóng nạp ở chế độ dòng không đổi (GCD)

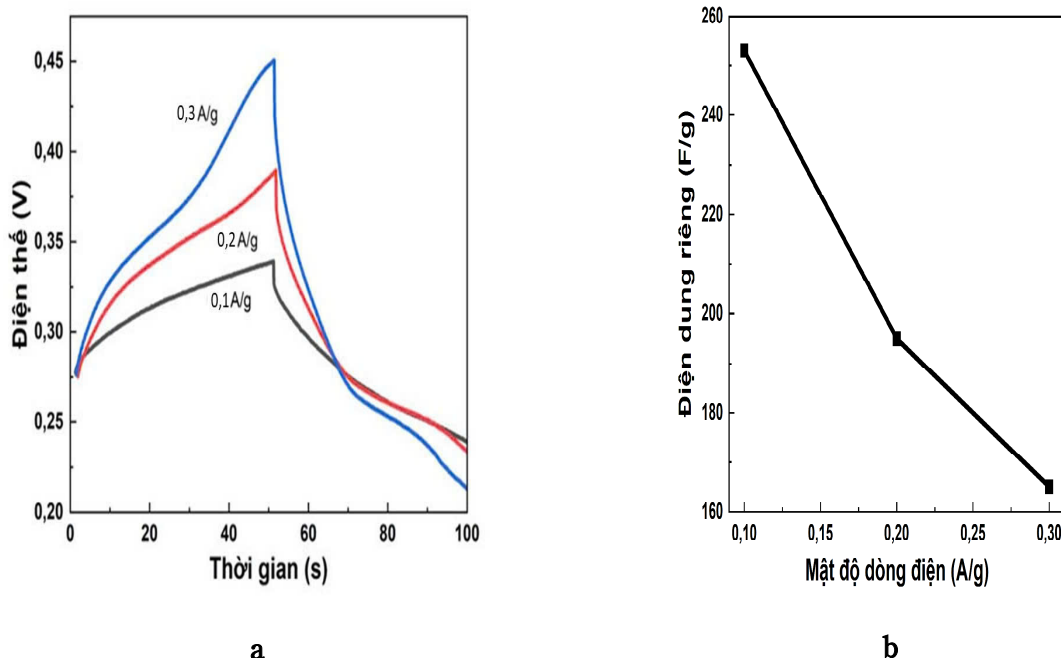
Tiến hành đo GCD với mật độ dòng điện (J) 0,1 - 0,3 A/g, thời gian 120 giây, điện áp 0,20V - 0,45V. Hình 4a cho thấy, đường phóng, nạp đều có hình tam giác đối xứng, chứng tỏ CNN có khả năng lưu trữ năng lượng tốt trên điện cực thông qua hấp phụ vật lý để tạo thành các lớp điện tích kép [10].

Từ phương pháp GCD tính được điện dung riêng của CPD theo công thức sau:

$$C = \frac{J \Delta t}{\Delta V_m}$$

Trong đó: Δt là thời gian phóng (s) và ΔV là điện áp làm việc (V).

Hình 4b cho thấy, tại mật độ dòng bằng 0,1 A/g, điện dung riêng (C) của CNN là 253 F/g, tại mật độ dòng bằng 0,3 A/g thì C của CNN là 165 F/g. Giá trị C của điện cực CNN cao hơn so với điện cực CDCP [10] và khá cao so với kết quả của các nghiên cứu trước đây trong các điều kiện nghiên cứu tương đồng về dung dịch điện ly và mật độ dòng điện phóng/nạp (Bảng 1).



Hình 4. (a) Kết quả DCD ở các mật độ dòng khác nhau; (b) Điện dung riêng C (F/g) của CNN phụ thuộc vào mật độ dòng J (A/g)

Bảng 1. So sánh điện dung riêng của CNN với các điện cực nghiên cứu trước đây

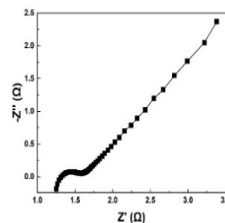
Vật liệu	Dung dịch điện ly	Mật độ dòng phóng/ nạp (A/g)	Điện dung riêng (F/g)	Tài liệu tham khảo
Nano gold xốp	[EMIM]BF ₄	0,14	79,1	[11]
NiO nanosheet	KOH 3 M	0,5	81,67	[12]
Carbon hoạt tính (COS)	KOH 6 M	0,2	266	[13]
Nano carbon xốp (PCNs)	KOH 6 M	0,06	309	[14]
Zn-HSC	Zn(CF ₃ SO ₃) ₂ 1M	0,1	170	[15]
Graphene pha tạp Nitrogen	KOH 6 M	0,5	197	[16]
Graphene nanocapsules (GNCs)	KOH 6 M	0,05	277	[17]
Carbon xốp có nguồn gốc từ than đá (CPCFs)	KOH 6 M	1,0	170	[18]
CDPC	KOH 6 M	0,1 0,3	236 156	[10]
CNN	KOH 6 M	0,1 0,3	253 165	Trong nghiên cứu này

Bảng 1 cho thấy, khi so sánh giá trị điện dung riêng của điện cực CDPC và CNN cho thấy, chất kết dính và dung môi hòa tan chất kết dính, nhiệt độ nung trong quá trình chế tạo điện cực cũng ảnh hưởng đến điện dung riêng của điện cực. Cùng vật liệu nano carbon, cùng chất dẫn điện graphite: Carbon nanotube, tỷ lệ khối lượng các chất phối trộn giống nhau nhưng dùng dung môi N-methylpyrrolidine, chất kết dính PVDF thì tính chất điện hóa của điện cực CNN tốt hơn khi dùng dung môi butyl acetate, chất kết dính PVA. Có thể là do chất kết dính PVDF, dung môi N-methylpyrrolidine ít bị hòa tan trong KOH 6M so với chất kết dính PVA và dung môi butyl acetate.

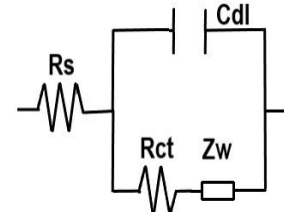
3.2.3. Tổng trở (EIS)

Đo tổng trở với điện áp 0,02V, trong dải tần số từ 100 kHz đến 0,01 Hz. Hình 5a cho thấy, đường cong giao với trục x phản ánh điện trở (R_s) của điện cực. R_s bao gồm điện trở, điện trở tiếp xúc. Ở vùng tần số cao, có hình bán nguyệt rõ ràng, đặc trưng điện trở chuyển dịch điện tích (R_{ct}). Từ sơ đồ mạch điện tương đương ở hình 5b [19], tính được

$R_{ct} = 2,15 \Omega$. Giá trị R_{ct} nhỏ chứng tỏ, điện cực CNN có khả năng lưu trữ, tích thoát năng lượng tốt.



a



b

Hình 5. (a). Phổ Nyquist CNN; (b) Sơ đồ mạch tương đương của CNN [19]

3.3. Tính chất điện hóa của cell pin Li-ion

3.3.1. Quét thế CV

Cell pin Li-ion sau khi chế tạo được quét CV 10 chu kỳ với vận tốc quét 30 mV/s, khoảng quét thế từ -1,0 đến 0 V trong dung dịch LiPF₆ 1M. Hình 6a cho thấy, các mật độ dòng âm và dòng dương tăng dần, cho thấy rằng điện cực CNN có thể hoạt động tốt trong cell pin Li - ion, có sự khác biệt rõ ràng giữa các chu kỳ từ 1 - 10. Chứng tỏ đã

có sự hình thành lớp điện ly rắn giao pha (SEI) trên bề mặt điện cực của pin. Lớp SEI hình thành ngăn chặn sự phân hủy của vật liệu điện cực anode, giúp ổn định điện cực trong quá trình hoạt động.

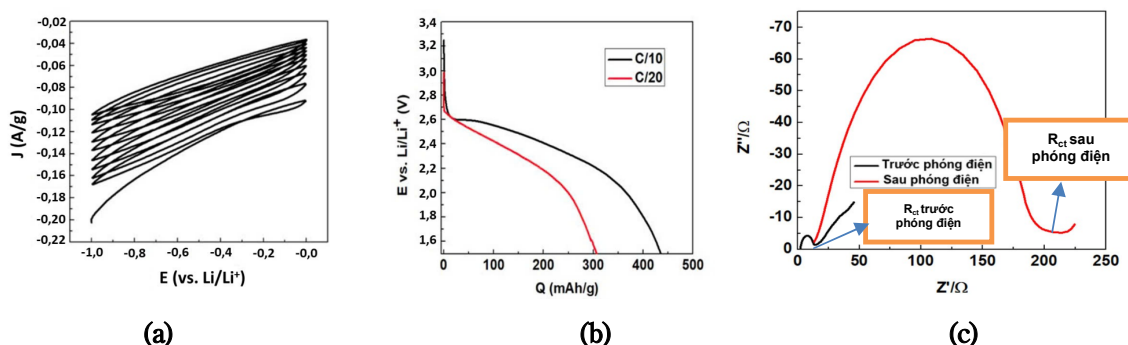
3.3.2. Đo GCD

Khả năng lưu trữ pin Li-ion của điện cực CNN được đánh giá bằng phương pháp GCD với mật độ dòng phóng C/10; C/20 ($C = 372 \text{ mAh/g}$), trong vùng thế 1,5 - 3,3 V (so với Li^+/Li). Kết quả dung lượng phóng điện của cell pin Li-ion ở mật độ dòng C/10 và C/20 được thể hiện trên hình 6b. Hình 6b cho thấy, dung lượng riêng (Q) của pin Li-ion tại mật độ dòng tiêu chuẩn C/10 là $306,0 \text{ mAh/g}$, tại mật độ dòng C/20 là $435,5 \text{ mAh/g}$. Kết quả tính dung lượng riêng của cell pin Li-ion có anode là CNN cao hơn dung lượng riêng của cell pin Li-ion có anode chế tạo từ than đá Anthracite (Vàng Danh, tỉnh Quảng Ninh) do Nguyễn Thị Thúy Hằng và cs [2023] nghiên cứu (dung lượng riêng là $286,3 \text{ mAh/g}$ tại C/10) [9], cao hơn dung lượng

riêng của pin Li-ion có điện cực anode từ than chì chế tạo từ than anthracite do Wang và cs (2020) nghiên cứu (dung lượng riêng bằng $337,2 \text{ mAh/g}$ tại C/20) [20]. Tuy nhiên so với pin Li-ion có anode chế tạo từ than đá hoạt hóa bằng NaCl , Na_2CO_3 có dung lượng riêng bằng $450,0 \text{ mAh/g}$ [21] thì dung lượng của cell pin Li-ion có anode là CNN vẫn thấp hơn.

3.3.3. Đo tổng trở

Đo tổng trở với điện áp $0,02\text{V}$, trong dải tần số từ 100 kHz đến $0,01 \text{ Hz}$. Hình 6c cho thấy, cell pin Li-ion sau khi phóng điện có điện trở chuyển điện tích R_{ct} (hình bán nguyệt trong phổ Nyquist) nhỏ hơn rất nhiều so với R_{ct} của pin trước khi phóng điện. Điều này cho thấy, sau khi phóng điện thì điện cực anode CNN hoạt động trở nên ổn định hơn, sự tiếp xúc giữa bề mặt vật liệu và dung dịch chất điện ly cũng tốt hơn. Các vị trí hoạt hoá ở trên bề mặt vật liệu CNN cũng trở nên “hoạt động hơn” trong cơ chế lưu trữ ion lithium kiểu xen kẽ [9, 10].



Hình 6. (a): Phổ CV pin Li-ion ở 10 chu kỳ; (b): Dung lượng phóng điện của pin Li-ion ở mật độ dòng C/10 và C/20; (c): Phổ Nyquist trước và sau phóng điện của pin Li-ion

4. KẾT LUẬN

Điện cực CNN chế tạo từ nano carbon với chất kết dính Polyme Polyvinylidene fluoride (PVDF), dung môi N-methylpyrrolidone, chất dẫn điện là graphite và carbon nanotube có khả năng tích trữ năng lượng tốt, với khả năng duy trì điện dung $65,35\%$ sau 1.000 CV phóng nạp, C bằng 253 F/g ở mật độ dòng $0,1\text{A/g}$.

Đã lắp ghép điện cực CNN thành anode trong cell pin Li-ion, điện cực anode CNN có khả năng lưu trữ tốt ion lithium. Dung lượng riêng của cell pin Li-ion tại mật độ dòng tiêu chuẩn C/10 là $306,0 \text{ mAh/g}$, tại C/20 là $435,5 \text{ mAh/g}$. Các kết quả trên

bước đầu cho thấy, có thể sử dụng CNN làm anode trong pin Li-ion.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi đề tài Khoa học và Công nghệ cấp Bộ, mã số B2023-TNA-07.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Riya Thomas, B. Manoj, (2021). Electrochemical efficacies of coal derived nanocarbons. *Int J Coal Sci Technol*, 8(4): 459 - 472. <https://doi.org/10.1007/s40789-020-00379-0>.
2. Fromm, O., Heckmann, A., Rodehorst, U. C., Frerichs, J., Becker, D., Winter, M., Placke, T.

- (2018). Carbons from biomass precursors as anode materials for lithium ion batteries: New insights into carbonization and graphitization behavior and into their correlation to electrochemical performance. *Carbon*, 128, pp. 147 - 163.
3. Gao, S., Tang, Y., Wang, L., Liu, L., Sun, Z., Wang, S., Zhao, H., Kong, L., Jia, D. (2018), Coal - based hierarchical porous carbon synthesized with a soluble salt self-assembly-assisted method for high performance supercapacitors and Li-ion batteries. *ACS sustainable chemistry engineering*, 6(3), pp. 3255 - 3263.
4. Lee, G., Jung, K., Lee, Y., Kim, J., Yim, T. (2021). Interface-stabilized layered lithium Ni-rich oxide cathode via surface functionalization with titanium silicate. *ACS Applied Materials Interface*, 13(40), pp. 47696 - 47705.
5. Li, J., Cao, Y.-L., Wang, L.-X. (2017). Performance of coal-derived spherical porous carbon as anode materials for lithium ion batteries. *Inorg Mater*, 32(9), pp. 909 - 915.
6. Sharma, R., Kumar, H., Kumar, G., Sharma, S., Aneja, R., Sharma, A. K., Kumar, R., Kumar, P. (2023). Progress and challenges in electrochemical energy storage devices: Fabrication, electrode material, and economic aspects. *Chemical Engineering Journal*, p. 143706.
7. Thomas, R., Balachandran, M., Physics (2021). Luminescence and energy storage characteristics of coke-based graphite oxide. *Materials Chemistry*, 257, p. 123854.
8. Wang, H., Zhu, H., Li, Y., Qi, D., Wang, S., Shen, K. (2019). Hierarchical porous carbon derived from carboxylated coal-tar pitch for electrical double-layer capacitors. *RSC advances*, 9(50), pp. 29131 - 29140.
9. Nguyễn Thị Thúy Hằng, Lê Minh Kha, Huỳnh Thị Kim Tuyên, Lê Mỹ Loan Phụng, Nguyễn Văn Hoàng (2023). Khảo sát khả năng khả năng lưu trữ ion Li^+ của vật liệu than Anthracite (Vàng Danh - Quảng Ninh) ở các nhiệt độ nung khác nhau. *Tạp chí Phát triển khoa học và Công nghệ*, 7(1), pp. 2548 - 2559.
10. Do, T. H., Nguyen, V. T., Nguyen, T. N., Ha, X. L., Nguyen, Q. D., Tran, T. K. N (2024). Synthesis of Porous carbon nanomaterials from Vietnamese Coal: Fabrication and Energy Storage Investigations. *Appl. Sci* 14, 965. <https://doi.org/10.3390/app14030965>
11. Liu, T., Wang, K., Chen, Y., Zhao, S., Han, Y., (2019). Dominant role of wettability in improving the specific capacitance. *Green Energy Environ*, 4, 171-17
12. Xiao, H., Yao, S., Liu, H., Qu, F., Zhang, X., Wu, X. (2016). NiO Nanosheet Assembles for Supercapacitor Electrode Materials. *Prog Nat Sci Mater Int*, 26, 271 - 275.
13. Zhang, J., Gong, L., Sun, K., Jiang, J., Zhang, X, (2012). Preparation of activated carbon from waste camellia oleifera shell for supercapacitor application. *J Solid State Electrochem*, 16, 2179 - 2186.
14. Ali, G. A. M., Manaf, S. A. B. A., Kumar, A., Chong, K. F., Hegde, G, (2014). High performance supercapacitor using catalysis Free Porous Carbon Nanoparticles", *J Phys D Appl Phys*, 47, 495307
15. Wang, H., Wang, M., Tang, Y. A. (2018). Novel zinc - ion hybrid supercapacitor for long - life and low-cost energy storage applications. *Energy Storage Mater*, 13, 1 - 7.
16. Zhao X, Jia W, Wu X *et al* (2020). Ultrafine MoO_3 anchored in coalbased carbon nanofiber as anode for advanced lithium - ion batteries. *Carbon*, 156, 445 - 452.
17. Gao, F., Qu, J. Y., Zhao, Z., Quan, Z., Beibei, L., Jieshan, Q. A. (2014). Green strategy for the synthesis of graphene supported Mn_3O_4 nanocomposites from graphitized coal and their supercapacitor application. *Carbon*, 80, 640 - 650.
18. Qiu, J. S., Li, Y. F., Wang, Y. P., Wang, T., Zhao, Z., Zhou, Y., Li, F., Cheng, H. (2003). High-purity single-wall carbon nanotubes synthesized from coal by arc discharge. *Carbon*, 41, 2159 - 2217.
19. Liu Y., Guo X., Tian X., Liu X. (2022). Coal - based semicoke - derived carbon anode materials

with tunable microcrystalline structure for fast lithium-ion storage. *Nanomaterials*, 12, p.4067.

20. Wang, T., Wang, Y., Cheng, G., Ma, C., Liu, X., Wang, J., Qiao, W., Ling, L. (2020). "Catalytic graphitization of anthracite as an anode for lithium-ion batteries", *Energy Fuels*, 34(7), pp. 8911 - 8918

21. Gao, S., Tang, Y., Wang, L., Liu, L., Sun, Z., Wang, S., Zhao, H., Kong, L., Jia, D. (2018). Coal-based hierarchical porous carbon synthesized with a soluble salt self-assembly-assisted method for high performance supercapacitors and Li-ion batteries. *ACS sustainable chemistry engineering*, 6(3), pp. 3255 - 3263.

RESEARCH ON THE ENERGY STORAGE ABILITY OF COAL-BASED NANO CARBON MATERIALS

Do Tra Huong¹, Ha Xuan Linh², Nguyen Van Tu³, Tran Quoc Toan¹, Nguyen Thi Thu Ha¹

¹ Faculty of Chemistry, University of Education, Thai Nguyen University

² International School, Thai Nguyen University

³ Institute of Materials Chemistry, Institute of Military Science and Technology

Summary

This study examines the fabrication and performance of electrodes constructed from coal-derived carbon nanotubes (CNN electrodes). These electrodes demonstrate excellent stability, maintaining 65.35% of their initial capacitance after 1000 cyclic voltammetry (CV) cycles. The specific capacitance, measured by the charge-discharge method, is 253 F/g at a current density of 0.1 A/g. Electrochemical impedance spectroscopy reveals the CNN electrodes' high conductivity, with a low charge transfer resistance (R_{ct}) of 2.15 Ω. When assembled as anodes in lithium-ion batteries, the CNN electrodes show significant Li⁺ ion storage capabilities. At standard current densities of C/10 and C/20, the specific capacities are 306.0 mAh/g and 435.5 mAh/g, respectively. These results highlight the potential of coal-derived nano carbon electrodes for energy storage applications, demonstrating high stability, excellent capacitance, low resistance, and promising lithium-ion storage capability. Further research could focus on optimizing the fabrication process and exploring additional applications for these novel electrode materials.

Keywords: Coal derived nanocarbon, supercapacitor, anode, lithium-ion batteries, Hummer

Ngày nhận bài: 24/5/2024

Ngày chuyển phản biện: 15/8/2024

Ngày thông qua phản biện: 26/9/2024

Ngày duyệt đăng: 9/10/2024