

ỨNG DỤNG KỸ THUẬT IN 3D ĐỂ CHẾ TẠO ĐIỆN CỰC MÀNG MỎNG TRÊN CƠ SỞ COMPOSITE GRAPHEN OXITE / POLYVINYL ANCOL

Đỗ Thị Thủy^{1, 2*}, Lê Thị Mỹ Hạnh¹, Hoàng Trần Dũng¹, Đoàn Thanh Tùng¹,
Nguyễn Mạnh Tường², Trần Đại Lâm¹, Nguyễn Tuấn Dung¹

Tóm tắt: Bài báo này trình bày phương pháp chế tạo mực in trên cơ sở graphen oxit/polyvinyl ancol và ứng dụng kỹ thuật in 3D để chế tạo điện cực màng mỏng. Đầu tiên, gel graphen oxit (GO) được tổng hợp bằng phương pháp Tour. Sau đó, gel GO được trộn hợp với dung dịch polyvinyl alcohol (PVA) theo tỉ lệ thích hợp để tạo thành dung dịch mực in. Đặc trưng hình thái học và thành phần hóa học của GO phân tích bằng phương pháp hiển vi điện tử quét (SEM), hiển vi điện tử truyền qua (TEM), phổ tán xạ năng lượng (EDX). Mực in GO-PVA được in trên đế graphit và xác định các đặc trưng điện hóa bằng phương pháp phân cực vòng đa chu kỳ (CV) trong dung dịch $K_3[Fe(CN)_6]/K_4[Fe(CN)_6]$ 10 mM. Kết quả nghiên cứu cho thấy, với hàm lượng PVA chiếm 12% trong hỗn hợp GO-PVA thì hệ composite bền nhất và điện cực chế tạo được có hoạt tính điện hóa tốt nhất.

Từ khóa: In 3D; Điện cực; Graphene oxit; Polyvinyl alcohol.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Kể từ khi được phát hiện vào năm 2004, graphene đã thu hút được sự quan tâm nghiên cứu của nhiều nhà khoa học trên thế giới. Cho đến nay, nhiều công bố chỉ ra rằng, điện cực trên cơ sở graphene là ứng viên tiềm năng trong nhiều ứng dụng khác nhau như: transistor hiệu ứng trường (FET), tế bào pin mặt trời, diot phát quang (LED), cảm biến điện hóa, ắc quy và siêu tụ điện [1],... Với những tính chất ưu việt của graphene như: trở về mặt hóa học, độ bền cơ học rất lớn, độ dẫn nhiệt và dẫn điện cao, vật liệu này có triển vọng ứng dụng cao, đặc biệt là trong lĩnh vực điện hóa [2]. Hơn nữa, với khả năng tổng hợp lượng lớn từ graphit, vật liệu trên cơ sở graphene trở nên hấp dẫn hơn, hứa hẹn tiềm năng phát triển các linh kiện điện hóa hiệu năng cao với giá thành hợp lý.

Màng mỏng graphene thường được tổng hợp từ dung dịch và tạo màng mỏng bằng kỹ thuật spin-coating, drop casting, Langmuir-Blodgett (LB), self-assembly. Trong những năm gần đây, công nghệ in 3D phát triển mạnh mẽ, giúp cho việc chế tạo khuôn mẫu chính xác và dễ dàng hơn rất nhiều. Ứng dụng của công nghệ in 3D đang phát triển rộng rãi từng ngày, thâm nhập sâu tới mọi lĩnh vực trong cuộc sống. Việc áp dụng kỹ thuật in 3D trong chế tạo màng mỏng mở ra một hướng nghiên cứu mới mẻ và đầy triển vọng [3]. Bằng kỹ thuật in 3D, các màng mỏng có thể dễ dàng kiểm soát được chiều dày cũng như hình dạng của màng với độ chính xác cao thông qua sự kiểm soát của máy tính.

Trong bài báo này, chúng tôi tổng hợp graphene oxit bằng phương pháp hóa học, sau đó, màng composite graphene oxit/polyvinyl alcohol được chế tạo bằng kỹ thuật in 3D.

2. THỰC NGHIỆM

2.1. Nguyên liệu và hóa chất, thiết bị

Nguyên liệu, hóa chất: Bột Graphit (độ tinh khiết 95- 99%), H_2SO_4 (98%), H_3PO_4 (85%), HNO_3 (63%), $KMnO_4$ (độ tinh khiết 99%), PVA (M= 20.000), etanol (96%). Giấy graphite thương mại được mua từ hãng Xiamen TOB New Energy Technology với điện trở kháng đạt 3 $m\Omega/cm^2$. Các hóa chất và dung môi được sử dụng không qua tinh chế.

Thiết bị: Ảnh hiển vi điện tử quét (SEM) của vật liệu được phân tích trên thiết bị JEOL SM-6510 LV (Nhật Bản). Chiều dày của lớp mực in được xác định bằng phương pháp SEM với mật cắt của điện cực. Ảnh hiển vi điện tử truyền qua (TEM) của vật liệu được phân tích trên thiết bị TEM Tecnai G2 20S-TWIN. Phổ hồng ngoại của các mẫu được ghi trên quang phổ kế hồng

ngoại biên đổi FTIR NEXUS 670 trong vùng $4000-400\text{ cm}^{-1}$, mẫu được ép viên rắn với KBr tại Viện Kỹ thuật Nhiệt đới, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam. Phổ EDX được đo trên máy JSM 6610 LA, JEOL Nhật Bản tại Viện Hóa học-Vật liệu, Viện Khoa học và Công nghệ quân sự.

Máy in 3D là sản phẩm nghiên cứu của Viện Kỹ thuật nhiệt đới, với các thông số kỹ thuật: Vùng in $190 \times 190 \times 120\text{ mm}$; Độ phân giải chuyển động các trục: $0,01\text{ mm}$; Nhiệt độ bàn in: nhiệt độ môi trường $\div 100\text{ }^{\circ}\text{C}$; Độ dày lớp in $0,1\text{ mm} \div 0,3\text{ mm}$; Tốc độ in: $1 \div 20\text{ mm/s}$; Mực in lỏng, dung tích $\leq 5\text{ ml}$; Điều khiển bằng máy tính qua phần mềm điều khiển Repetier Host. Mẫu in thiết kế $10 \times 20 \times 0,4\text{ mm}$ trên phần mềm vẽ 3D (như SolidWorks), lưu dưới định dạng *.stl và được chuyển sang G-code được tính toán với phần mềm tính toán mã G (như KISSlicer). Các thông số để tính toán cơ bản như sau: Độ dày lớp in: $0,2\text{ mm}$; Độ rộng đường in: $0,4\text{ mm}$; Độ phủ: 100% ; Tốc độ in: 1 mm/s ; Nhiệt độ bàn in: $80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tập tin chứa mã G sau đó được sử dụng để điều khiển máy in để in vật liệu lên để hình thành điện cực.

Hoạt tính điện hóa của điện cực được ghi trên máy đo điện hóa Biologic nhiều kênh VSP 3000, Pháp, tại Viện Kỹ thuật Nhiệt đới, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam. Các điện cực được đánh giá hoạt tính điện hóa bằng phương pháp phân cực vòng đa chu kỳ (CV) trong dung dịch $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]/\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 10 mM . Bình điện hóa sử dụng là bình ba điện cực: điện cực làm việc là điện cực được in 3D có diện tích bề mặt 1 cm^2 , điện cực so sánh là điện cực calomel bão hòa (SCE) và điện cực đối là một tấm lưới platin. Các phép đo điện hóa được tiến hành trên thiết bị đo điện hóa Biologic nhiều kênh VSP 300. Các thí nghiệm được thực hiện ở nhiệt độ phòng.

2.2. Quy trình chế tạo mực in trên cơ sở GO/PVA

Lấy chính xác $90\text{ ml H}_2\text{SO}_4$ và $10\text{ ml H}_3\text{PO}_4$ vào bình cầu, đặt trên khay đá làm lạnh. Cân 1 g graphite và 6 g KMnO_4 . Cho graphite vào hỗn hợp axit, khuấy nhẹ cho tới khi graphite phân tán đều, sau đó, làm lạnh hỗn hợp bằng nước đá sao cho nhiệt độ của hệ không quá $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Khi nhiệt độ của hệ đạt tới $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ bắt đầu thêm từ từ KMnO_4 vào hỗn hợp, tiếp tục khuấy thêm 10 phút nữa để đảm bảo hỗn hợp graphite và KMnO_4 phân tán đều. Đun nóng hỗn hợp ở khoảng nhiệt độ $70\text{ }^{\circ}\text{C} \div 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ trong thời gian 3 giờ . Hỗn hợp sau phản ứng được làm nguội tới nhiệt độ phòng. Thêm $10\text{ ml H}_2\text{O}_2\text{ }10\%$ và khuấy tiếp 15 phút đến khi dung dịch có màu vàng nâu. Tiếp tục khuấy hỗn hợp thêm 15 phút nữa rồi pha loãng hỗn hợp bằng nước cất trong cốc thể tích 2 lít . Hỗn hợp được đem ly tâm nhiều lần để loại bỏ các chất dư sau phản ứng cho đến khi dung dịch đạt môi trường trung tính. Trong 3 lần rửa cuối cùng, sản phẩm và nước được đưa vào thiết bị siêu âm, siêu âm trong vòng 20 phút , sau đó, ly tâm thu được sản phẩm gel GO.

Hút chính xác 5 ml gel GO nồng độ 8 mg/ml vào cốc thủy tinh, khuấy 15 phút trên bếp khuấy từ với tốc độ 200 vòng/phút . Sau đó, siêu âm tiếp dung dịch GO này trong 5 phút nữa để đảm bảo dung dịch đồng nhất. Thêm vào dung dịch gel GO một lượng polyvinyl alcohol thích hợp, khuấy đều hỗn hợp trong 10 phút rồi tiếp tục siêu âm thêm 5 phút nữa để dung dịch phân tán đều thu được mực in kí hiệu là GO-PVA. Các mẫu mực in được thay đổi hàm lượng PVA lần lượt là $0, 4, 8, 12, 16\%$ và được ký hiệu là GO, GO-PVA4, GO-PVA12, GO-PVA16.

2.3. Quy trình chế tạo điện cực

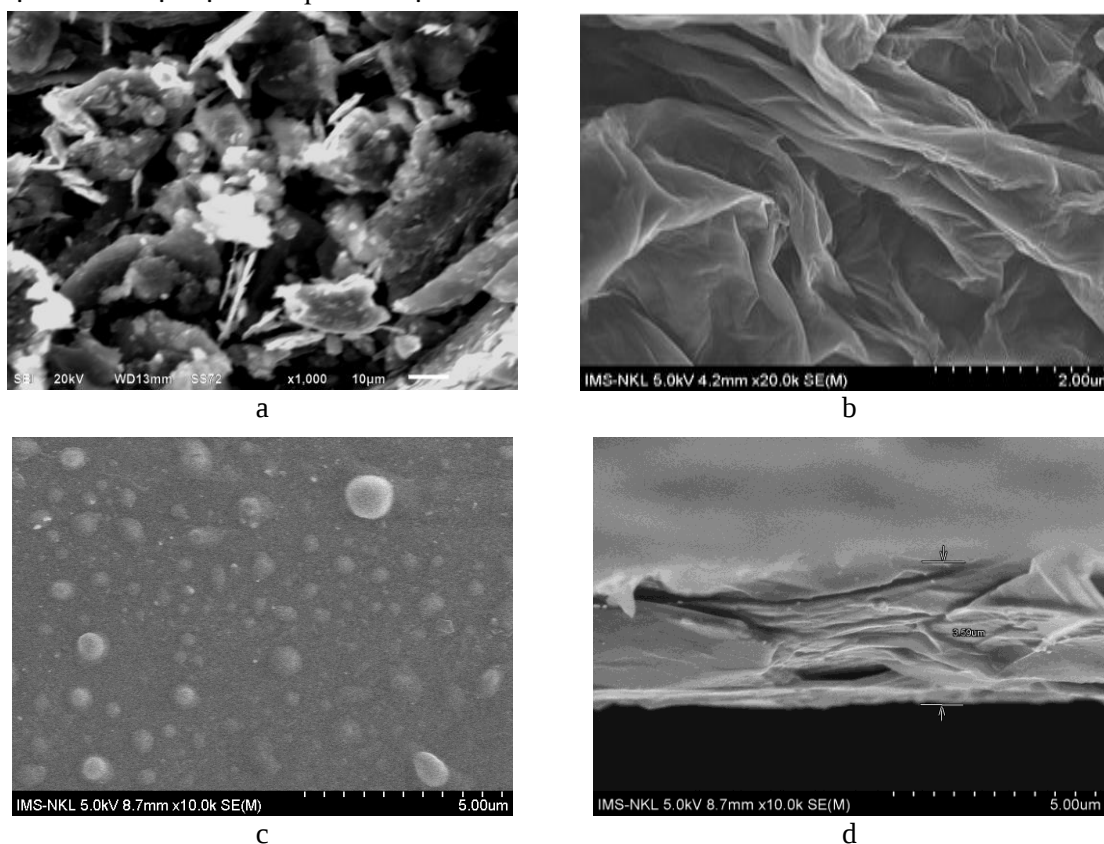
Các mẫu mực in được hút cẩn thận vào xi lanh dung tích 5 ml (tránh để bọt khí xuất hiện trong xi lanh vì có thể gây tắc mực trong khi in). Đế graphite được cắt thành tấm với kích thước $2,5\text{ cm} \times 2,5\text{ cm}$, rửa sạch bằng nước cất, sau đó tráng lại bằng axeton, để khô tự nhiên. Đế graphite được giữ cố định trên bàn giữ nhiệt và được giữ ở nhiệt độ $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ trong suốt quá trình in. Mẫu điện cực được thiết kế với kích thước $1\text{ cm} \times 2\text{ cm}$. Quá trình in 3D chế tạo màng mỏng được kiểm soát chặt chẽ thông qua phần mềm Solidworks với tốc độ in 2 mm/s ; chiều dày mỗi lớp mực in là $0,2\text{ mm}$; chiều rộng của mỗi đường in là $0,25\text{ mm}$. Lượng dung dịch mực in được kiểm soát với thể tích $0,08\text{ ml/cm}^2$. Các điện cực được in một lớp mỏng, sau đó, để khô tự nhiên

và lớp thứ hai lại được in chồng lên lớp thứ nhất. Quá trình in lặp lại nhiều lần cho đến khi đạt được độ dày lớp phủ như mong muốn. Trong bài báo này, chúng tôi tiến hành tạo lớp màng mỏng bằng cách in 3 chu kỳ liên tiếp các mẫu mực in GO (8 mg/ml), GO-PVA4, GO-PVA12, GO-PVA16 được các điện cực GO, GO-PVA4, GO-PVA12, GO-PVA16 tương ứng. Các mẫu điện cực sau khi in 3D được sấy khô ở 100 °C trong 30 phút.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Nghiên cứu đặc trưng tính chất của graphene oxit

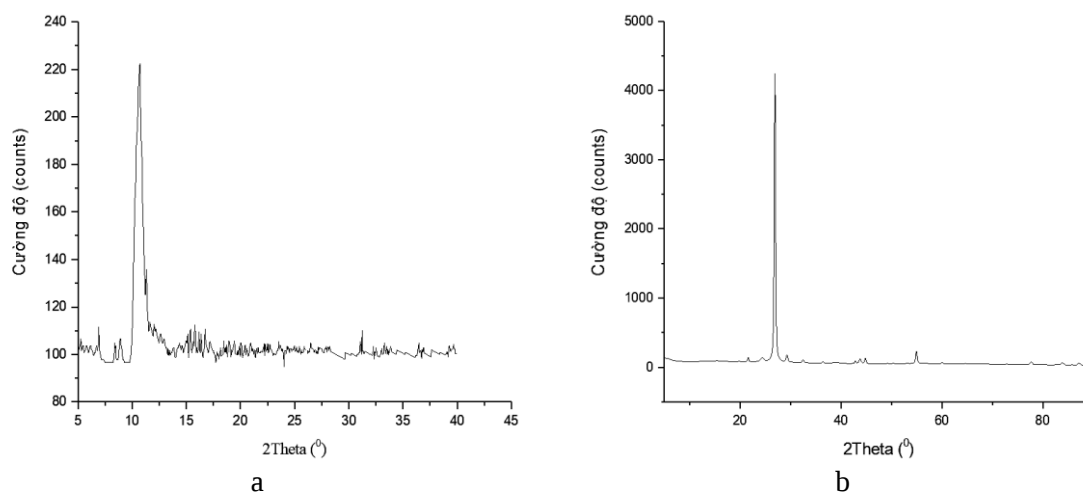
Hình thái cấu trúc của bột graphit, gel GO, composit GO-PVA, được phân tích bằng kính hiển vi điện tử quét SEM. Chiều dày lớp mực in GO-PVA được xác định bằng phương pháp SEM với mặt cắt của điện cực. Kết quả thể hiện trên hình 1.



Hình 1. Ảnh FE-SEM của (a): Graphit, (b): Graphen oxit, (c): Composite graphen oxit-polyvinyl ancol, (d): Mặt cắt composite graphen oxit-polyvinyl ancol.

Kết quả phân tích hình thái cấu trúc trên hình 1a và hình 1b cho ta quan sát thấy quá trình bóc tách hóa học graphit tạo GO đã diễn ra thành công. Ban đầu, graphit có cấu trúc dạng lớp dày và chưa thể thấy được sự phân lớp. Đặc điểm hình thái học của của graphit đã thay đổi rõ rệt, chuyển từ dạng khối dày sang dạng màng mỏng, tạo thành lớp rõ rệt, ở giữa tạo nhiều khoảng trống. Điều này là do việc hình thành thêm các nhóm chức ở bề mặt trên cấu trúc graphit dẫn đến sự giãn nở và tách thành các lớp mỏng. Quan sát hình 1c, có thể thấy với composite GO-PVA, PVA có cấu trúc hạt tròn, phủ kín bề mặt điện cực. Ảnh FE-SEM mặt cắt của mẫu điện cực composite GO-PVA cho thấy chiều dày lớp mực in 3D khoảng 3,59 μm .

Thành phần pha tinh thể và cấu trúc của các mẫu graphit, GO tổng hợp được xác định bằng phương pháp nhiễu xạ tia X. Kết quả được trình bày ở hình 2.



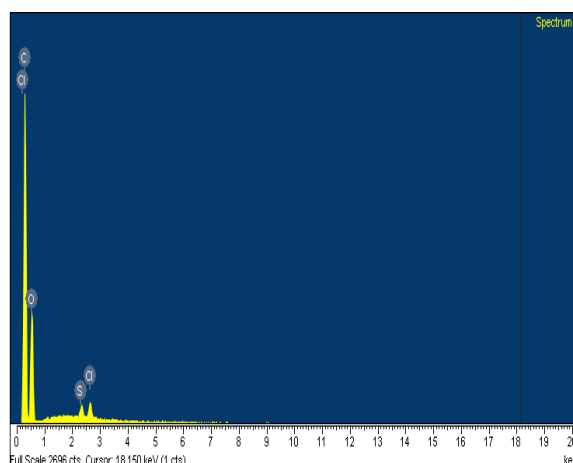
Hình 2. Phổ XRD của mẫu (a): Graphen oxit, (b): Graphit.

Giản đồ XRD ở hình 2b cho thấy, pic graphit ban đầu có độ kết tinh cao với pic đặc trưng có cường độ lớn và sắc nét tại góc nhiễu xạ $2\theta = 25,9^\circ$ khoảng cách giữa các lớp cacbon trong graphit là 0,35 nm. Sau khi bị oxy hóa, cường độ pic đặc trưng của graphit ở $2\theta = 25,9^\circ$ đã giảm đi đáng kể và thay vào đó là sự xuất hiện của pic ở góc $2\theta = 11,4^\circ$ đặc trưng cho vật liệu GO [5], khoảng cách giữa các lớp cacbon đã được nâng lên đáng kể từ 0,35 nm lên 0,77 nm. Ở GO đã xảy ra quá trình oxy hóa graphit tạo ra các nhóm chức chứa oxy như -OH, -O-, -C=O và -COOH chen vào giữa các lớp dẫn đến làm tăng khoảng cách giữa các lớp cacbon trong graphit.

Thành phần hóa học của mẫu composite GO-PVA được phân tích bằng phương pháp phổ năng lượng tán xạ tia X (EDX). Kết quả ở hình 3 và bảng 1 cho thấy có 2 peak năng lượng chính chứa các nguyên tố thành phần C và O, trong đó, C chiếm tỉ lệ 57,36% và O chiếm tỉ lệ 41,74%. Ngoài ra, mẫu vật liệu vẫn còn chứa một lượng nhỏ S và Cl chiếm 0,40% và 0,50% tương ứng. Điều này có thể được giải thích trong quá trình rửa GO vẫn còn lượng vết axit H_2SO_4 và HCl.

Bảng 1. Thành phần hóa học của mẫu composite graphen oxit - polyvinyl ancol.

Nguyên tố	C	O	S	Cl
% khối lượng	57,36	41,74	0,40	0,50

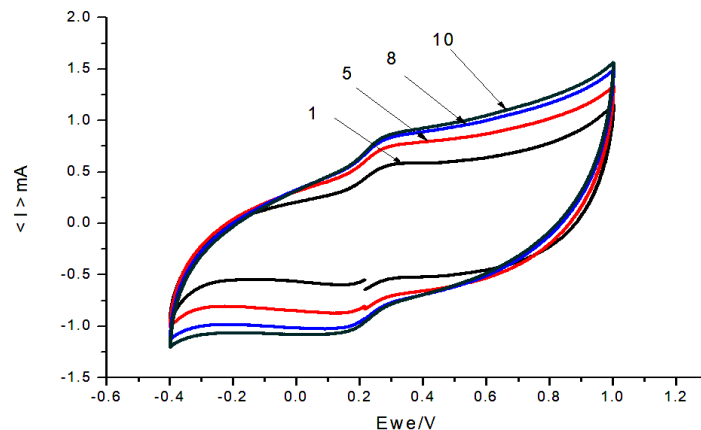


Hình 3. Phổ năng lượng tán xạ tia X của graphene oxit - polyvinyl ancol.

3.2. Khảo sát hoạt tính điện hóa của điện cực

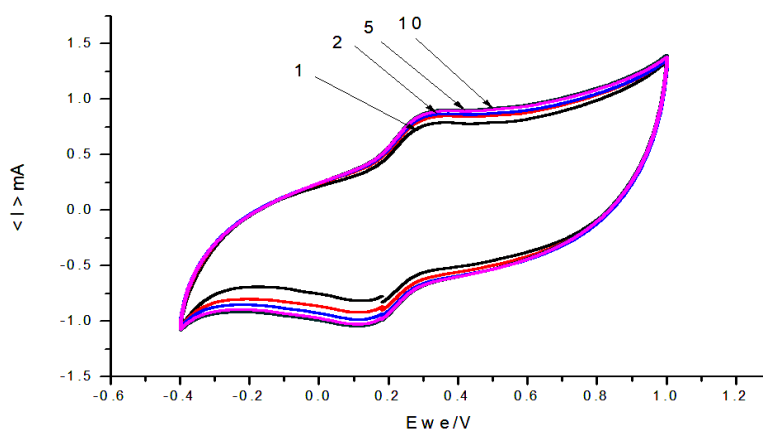
Điện cực GO được sử dụng kỹ thuật von-ampe vòng trong dung dịch

$K_3[Fe(CN)_6]/K_4[Fe(CN)_6]$ 10 mM. Điều kiện đo CV trong khoảng thế từ - 0,4 V tới +0,1 V (theo SCE) để tránh quá trình oxy hóa khử nước, tốc độ quét 50 mV/s trong 10 vòng. Kết quả thể hiện trên hình 4.



Hình 4. Đường phân cực CV của điện cực graphene oxit trong dung dịch $K_3[Fe(CN)_6]/K_4[Fe(CN)_6]$ 10 mM, tốc độ quét thế 50 mV/s.

Ở chu kỳ quét thế đầu tiên, xuất hiện pic oxy hóa của GO ở 0,29 V, tương ứng với cường độ dòng oxy hóa đạt 0,55 mA. Tiếp tục quét thế vòng đa chu kỳ điện cực GO trong dung dịch $K_3[Fe(CN)_6]/K_4[Fe(CN)_6]$ nhận thấy cường độ dòng oxy hóa i_{oxh} liên tục tăng. Ở vòng quét thứ hai, cường độ dòng điện đã tăng từ 0,55 mA lên 0,67 mA. Điều này chứng tỏ màng GO đã có sự trao đổi điện tích giữa điện cực với dung dịch. Ở vòng quét thứ 10, cường độ dòng điện đạt 0,74 mA. Tuy nhiên, có thể thấy rằng, điện cực GO có dòng không ổn định, cường độ dòng điện liên tục tăng sau sau các vòng quét thế. Sau 10 vòng quét thế, bằng mắt thường có thể quan sát thấy lớp màng GO đã bắt đầu bong khỏi đế. Cường độ dòng điện tăng có thể là do màng GO đã bong khỏi đế và các điện tử dẫn điện ở vật liệu nền graphite đã trao đổi điện tử với dung dịch điện ly, kết quả là cường độ dòng điện tăng lên. Do đó, chúng tôi định hướng sử dụng thêm polyvinyl alcohol để tăng khả năng kết dính của GO với vật liệu nền. Kết quả khảo sát hoạt tính điện hóa của điện cực GO-PVA8 được thể hiện trên hình 5.

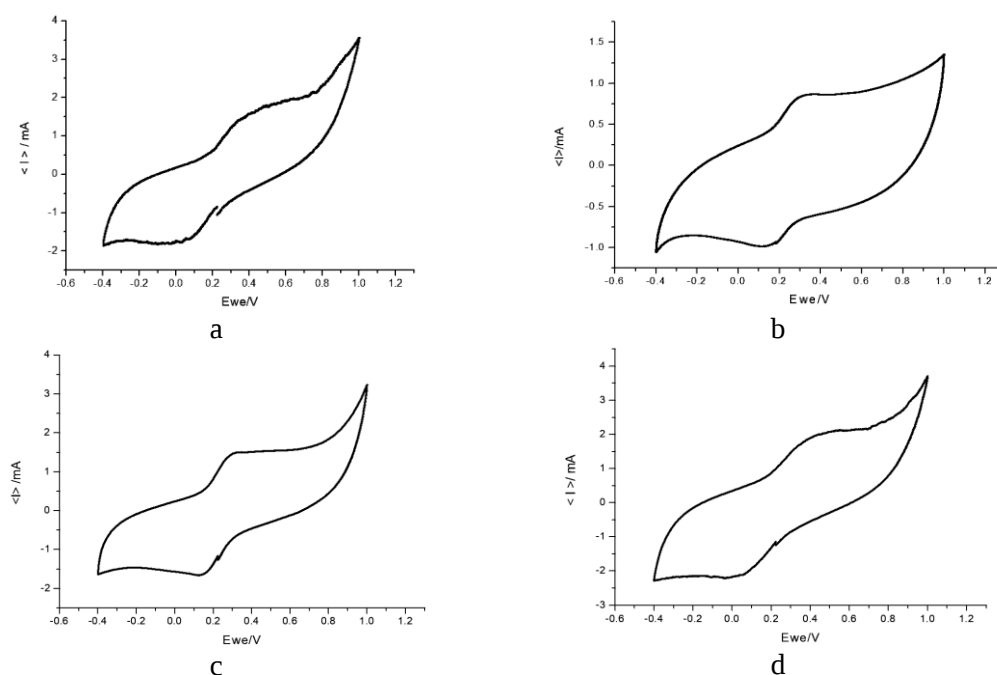


Hình 5. Đường phân cực CV của điện cực GO-PVA8 trong dung dịch $K_3[Fe(CN)_6]/K_4[Fe(CN)_6]$ 10 mM, tốc độ quét thế 50 mV/s.

So sánh với màng GO thuần, khi có thêm PVA, xuất hiện pic oxy hóa ở 0,31 V tương ứng với cường độ dòng điện đạt 0,80 mA đồng thời dòng điện cũng nhanh ổn định hơn. Quan sát phổ CV có thể thấy từ vòng quét thế thứ 2 cường độ dòng điện đã đạt được sự ổn định và gần như không

tăng sau 10 vòng quét thế. Sau 10 vòng quét thế có thể quan sát thấy màng phủ GO-PVA không bị bong ra khỏi đế. Điều này có thể giải thích do khi bổ sung thêm PVA, các mảnh GO được kết dính với vật liệu nền. Tuy nhiên, PVA là polymer không dẫn điện, nên cường độ dòng điện thay đổi không đáng kể.

Ảnh hưởng của hàm lượng PVA đến hoạt tính của điện cực cũng đã nghiên cứu. Kết quả thể hiện trên hình 6.



Hình 6. Đường phân cực CV của điện cực (a): GO-PVA4, (b): GO-PVA8, (c):GO-PVA12, (d): GO-PVA16 trong dung dịch $K_3[Fe(CN)_6]/K_4[Fe(CN)_6]$ 10 mM, tốc độ quét thế 50 mV/s.

Quan sát đường phân cực CV trên hình 6 có thể nhận thấy rằng, khi tăng hàm lượng PVA thì cường độ dòng oxy hóa cũng tăng nhẹ. Khi hàm lượng PVA đạt 4%, pic oxy hóa xuất hiện không rõ ràng, tín hiệu điện hóa cho thấy màng GO-PVA4 chưa liên tục. Khi hàm lượng PVA tăng lên 8% và 12 % thì pic oxy hóa xuất hiện rõ nét hơn. Với hàm lượng PVA đạt 8%, pic oxy hóa xuất hiện ở 0,31 V, cường độ dòng tương ứng đạt 0,80 mA. Với hàm lượng PVA đạt 12%, pic oxy hóa xuất hiện ở 0,31 V, cường độ dòng điện đạt 1,42 mA, khoảng cách pic oxy hóa được thu hẹp lại. Sau 10 chu kỳ quét thế, quan sát bằng mắt thường có thể thấy màng GO-PVA12 vẫn bám dính tốt trên vật liệu nền, graphene oxit không bị bong khỏi đế. Tuy nhiên, khi hàm lượng PVA cao đến 16% thì pic oxy hóa xuất hiện không rõ nét. Điều này có thể giải thích do lượng PVA cao, sẽ hạn chế sự trao đổi điện tử của điện cực với dung dịch điện ly. Do đó, trong các nghiên cứu tiếp theo, chúng tôi lựa chọn hàm lượng PVA thích hợp để chế tạo điện cực là 12%.

4. KẾT LUẬN

Bài báo này trình bày các kết quả bước đầu ứng dụng kỹ thuật in 3D để chế tạo màng mỏng điện cực trên cơ sở composite graphen oxit. Bằng phương pháp này việc gia công, chế tạo điện cực trở nên dễ dàng và thuận tiện hơn nhiều so với các phương pháp truyền thống. Chúng tôi đã tổng hợp thành công graphene oxit từ bột graphit theo phương pháp hóa học. Chúng tôi cũng sử dụng polyvinyl alcohol như là tác nhân kết dính giữa graphen oxit với vật liệu nền. Kết quả khảo sát hoạt tính điện hóa của điện cực chế tạo được bằng kỹ thuật von-ampe vòng trong dung dịch $K_3[Fe(CN)_6]/K_4[Fe(CN)_6]$ 10 mM cho thấy hàm lượng polyvinyl alcohol đạt 12% thì hoạt tính

điện hóa tốt nhất. Sau 10 vòng quét thế, màng mỏng graphene oxit-polyvinyl alcohol vẫn bám dính tốt trên đế và không bị bong vào dung dịch điện ly. Kỹ thuật in 3D tỏ ra có triển vọng ứng dụng cao trong việc gia công, chế tạo màng mỏng, điều này hết sức có nghĩa trong việc chế tạo điện cực ứng dụng trong lĩnh vực tích trữ năng lượng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Wongbong Choi, J., Graphene, “*Synthesis and Applications*”, CRC Press, (2011).
- [2]. Ying Wang, Sheng Zhang, Dan Du, Yuyan Shao, Zhaohui Li, Jun Wang et al, “*Self- assembly of aetylcholineserese on a gold nanoparticles - graphene nanosheet hybrid for organophosphate pesticide detection using polyelectrolyte as a linker*”, Journal of Materials Chemistry 21, (2011), 5319-5325.
- [3]. Feng Zhang, Min Wei, Vilayanur V.Viswanathan, Benjamin Swart, Yuyan Shao, “*3D printing technologies for electrochemical energy storage*”, Nano energy 40, (2017), 418-431.
- [4]. Rafael M.Cardoso, Silvia V.F.Castro, Murilo N.T Silva, Ana P.Lima, Mario H.P.Santana, Edson Nossol, Rodrigo A.B.Sliva, Eduardo M.Richter, Thiago R.L.C Paixao, Rodrigo A.A Munoz, “*3D-Printed flexible device combining sampling and detection of explosives*”, Sensors and Actuators B: Chemical, (2019), 30659-30667.
- [5]. George Z. Kyzas, Eleni A. Deliyanni and Kostas A. Matis, “*Graphene oxide and its application as an adsorbent for wastewater treatment*”, Journal of Chemical Technology & Biotechnology, 89, (2014), 196-205.

ABSTRACT

APPLICATION OF 3D-PRINTING TECHNOLOGY TO CREATE THIN FILM ELECTRODES BASE ON GRAPHENE OXIDE/POLYVINYL ALCOHOL COMPOSITE

This work presented a method to create graphene oxit/polyvinyl alcohol inks and using 3D printing technique to manufacture a thin film electrode. First, the gel graphene oxide (GO) was synthesized by Tour's method. After that, GO was mixed with polyvinyl alcohol (VPA) with specific ratio to become direct inks. Second, the inks was printed on graphite paper substrates by using direct ink writing. The morphology and component of chemical elements were determined using Scanning Electron Microscope (SEM), Scanning transmission electron microscopy (TEM), Energy-dispersive X-ray spectroscopy. As-printed electrodes was calculated electrochemical parameters by using CV technical in $K_3[Fe(CN)_6]/K_4[Fe(CN)_6]$ solution. The results show that, with PVA occupied 12 percentage of weight, electrode has stability and electrochemical activity highest.

Keywords: 3D printing; Electrochemical activity; Graphene oxide; Polyvinyl alcohol.

Nhận bài ngày 02 tháng 3 năm 2021

Hoàn thiện ngày 06 tháng 4 năm 2021

Chấp nhận đăng ngày 30 tháng 7 năm 2021

Địa chỉ: ¹Viện Kỹ thuật Nhiệt đới, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam;

²Viện Hóa học-Vật liệu, Viện Khoa học và Công nghệ quân sự.

*Email: dothuyvlnn@gmail.com.