

MÀNG DẪN ĐIỆN TỪ SỢI NANO BẠC TỔNG HỢP BẰNG PHƯƠNG PHÁP POLYOL

Đỗ Phương Anh^{1,5*}, Nguyễn Thị Ánh Tuyết², Nguyễn Văn Thông³, Nguyễn Văn Thịnh⁴, Đỗ Việt On¹,
Võ Thanh Tùng¹, Trương Văn Chương¹

¹Khoa Vật lý, Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế, 77 Nguyễn Huệ, Huế, Việt Nam

²Khoa Khoa học Tự nhiên, Trường Đại học Quy Nhơn, 170 An Dương Vương, Quy Nhơn, Bình Định, Việt Nam

³Trường Cao đẳng Công nghệ Quảng Nam, 224 Huỳnh Thúc Kháng, Tam Kỳ, Quảng Nam, Việt Nam

⁴Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật, Đại học Đà Nẵng, 48 Cao Thắng, Hải Châu, Đà Nẵng, Việt Nam

⁵Trường THPT Trần Cao Vân, 72 Trần Cao Vân, Quy Nhơn, Bình Định, Việt Nam

* Tác giả liên hệ Đỗ Phương Anh <dpsophys@gmail.com>

(Ngày nhận bài: 26-06-2020; Ngày chấp nhận đăng: 28-08-2020)

Tóm tắt. Trong bài báo này, sợi nano bạc đã được tổng hợp bằng phương pháp polyol dưới tác động của siêu âm. Đã xác định được nồng độ tối ưu của polyvinyl pyrrolidone cho quá trình chế tạo dung dịch. Sản phẩm sợi nano được khảo sát bằng kỹ thuật XRD, SEM và UV-Vis. Dung dịch dẫn điện có điện trở thấp, bám dính tốt, tính linh hoạt cao và ổn định nhiệt. Dung dịch này đã được sử dụng để chế tạo màng dẫn điện. Sản phẩm có thể mở ra một hướng mới cho các ứng dụng công nghệ sau này.

Từ khóa: dung dịch dẫn điện, màng dẫn điện, phương pháp polyol, sợi nano bạc

Conductive film from silver nanowires prepared with polyol method

Do Phuong Anh^{1,5*}, Nguyen Thi Anh Tuyet², Nguyen Van Thong³, Nguyen Truong Thinh⁴,
Do Viet On¹, Vo Thanh Tung¹, Truong Van Chuong¹

¹University of Sciences, Hue University, 77 Nguyen Hue St., Hue Vietnam

²Quy Nhon University, 170 An Duong Vuong St., Quy Nhon, Binh Dinh, Vietnam

³Quang Nam Technology College, 224 Huynh Thuc Khang St., Tam Ky, Quang Nam, Vietnam

⁴University of Technology and Education, The University of DaNang, 48 Cao Thang St., Hai Chau, Da Nang, Vietnam

⁵Tran Cao Van High School, 72 Tran Cao Van St., Quy Nhon, Binh Dinh, Vietnam

* Correspondence to Do Phuong Anh <dpsophys@gmail.com>

(Received: 26 June 2020; Accepted: 28 August 2020)

Abstract. In this paper, silver nanowires were prepared with the polyol method under ultrasonication. The optimal concentration of polyvinyl pyrrolidone in the reaction mixture was also determined. These nanowires were characterized with the XRD, SEM, and UV-Vis techniques. The conductive solution possesses a low resistance, good adhesion, high flexibility, and thermal stability. The solution was utilized to fabricate a conductive film, which might open up new technology applications.

Keywords: conductive film, conductive solution, polyol method, silver nanowire

1 Mở đầu

Với đặc tính dẫn điện tuyệt vời của bạc và tính linh hoạt của cấu trúc nano 1-D, sợi nano bạc (AgNW) là vật liệu hứa hẹn để thay thế vật liệu dẫn điện ITO (Indium Tin Oxide) trong suốt. Bên cạnh tính linh hoạt và khả năng đàn hồi, các tính chất quang điện của màng TCE (Transparent Conductive Electrode) làm bằng vật liệu AgNW đã tạo ra tiềm năng áp dụng vật liệu này trong màn hình cảm ứng, pin mặt trời và OLED (Organic Light-Emitting Diode) [1-3]. Kích thước của AgNW có tác động quan trọng đến tính chất của màng dẫn điện [4]. Nhìn chung, sợi nano bạc với đường kính nhỏ hơn có đặc tính quang điện tốt hơn khi được đưa vào TCE (độ truyền cao, trở kháng thấp, độ truyền qua tương đối cao) [5, 6]. Ngoài ra, dây mảnh cũng ổn định hơn trong dung dịch và ít có khả năng kết tập sau thời gian bảo quản dài.

Tổng hợp polyol là phương pháp để thêm tất cả các chất phản ứng đồng thời vào một bình và phản ứng ở một nhiệt độ xác định. Nó không đòi hỏi phải khuấy hay đưa thêm chất phản ứng khác, có độ lặp lại cao và ngày càng được áp dụng trong các nghiên cứu gần đây [1, 2, 4-14]. Mặc dù các dây nano có đường kính khoảng 50 nm có thể được chế tạo ở quy mô lớn hiện nay, nhưng AgNW siêu nhỏ (<30 nm) tổng hợp trong dung dịch bằng phương pháp polyol vẫn còn khó thực hiện và ít được công bố [1]. Ngoài ra, vật liệu này vẫn còn một số giới hạn ứng dụng trong các thiết bị quang điện tử. Một lượng nhỏ NaCl được xem là hạt nhân để phản ứng với AgNW [7, 12, 13]. Việc thêm KBr làm hạt nhân cũng được cho là có lợi khi giảm đường kính trung bình của AgNW trong các công trình trước đây [7], nhưng đường kính của các dây nano này đều trên 40 nm. Hơn nữa, sự chính xác khi dùng KBr và NaCl trong phương pháp này vẫn chưa được nghiên cứu rộng rãi.

Trong nghiên cứu này, chúng tôi cố định các tác nhân phản ứng với AgNO_3 và xem xét ảnh hưởng của nồng độ polyvinyl pyrrolidon lên quá

trình chế tạo dây nano Ag. Ngoài ra, chúng tôi sử dụng polyvinylidene fluorua làm chất kết dính trong quá trình tổng hợp màng composite với khả năng dẫn điện tốt ở nhiệt độ phòng [2, 3, 15].

2 Thực nghiệm

2.1 Hóa chất

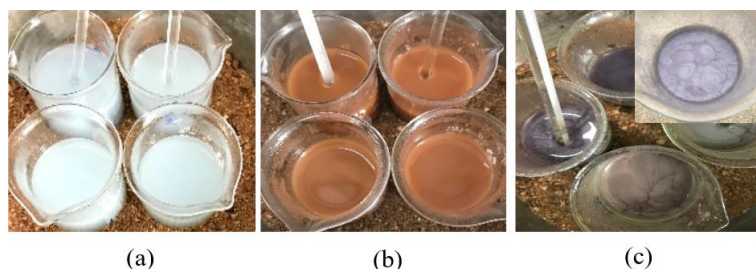
Các vật liệu được sử dụng để tổng hợp các sợi nano bạc bằng phương pháp polyol bao gồm bạc nitrat (AgNO_3 , 99%, Merck), polyvinyl pyrrolidon (PVP, Mw 55,000 g/mol, Sigma-Aldrich), ethylene glycol (EG, 99%, Merck), kali bromua (KBr 99%, Merck), natri clorua (NaCl , 98%, Merck), etanol (EtOH, 98%, Merck), polyvinylidene fluorua (PVDF, Mw ~345,000, Merck) và dimetylformamid (DMF, 99%, Merck), toluen (C_7H_8 , 99%, Merck), aceton ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$, >99%, Korea), isobutyl axetat ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2$, >99,5%, Korea), 2-heptanon ($\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}$, >99%, Sigma-Aldrich), ethyl axetat ($\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$, >99,5%, Korea).

2.2 Tổng hợp AgNWs [2, 9]

Công đoạn 1: Tổng hợp sợi nano bạc

Nâng nhiệt độ từ từ đến 75°C (15 phút) để đun 20 mL EG và 15 mM NaCl trong cốc thủy tinh có mỏ. Khi nhiệt độ gần đạt 75°C , cho 6 mM AgNO_3 vào hỗn hợp trên. Phản ứng giữa NaCl và AgNO_3 tạo ra AgCl làm dung dịch có màu trắng đục. Trong khi đó, EG bị nhiệt phân tạo thành andehit và hợp chất này đóng vai trò vừa là dung môi, vừa là tác nhân khử, còn AgCl vừa sinh ra có tác dụng tạo mầm bạc trong quá trình tổng hợp.

Tiếp theo, đưa 2 mM KBr vào hỗn hợp. Tiếp tục nâng nhiệt từ từ trong vòng 10 phút cho đến $135\text{--}140^\circ\text{C}$ và cho 100–250 mg PVP vào (PVP được hòa tan trong 20 mL EG và đánh siêu âm trong 30 phút). Sau đó, nâng nhiệt độ lên $155\text{--}160^\circ\text{C}$ trong vòng 8 phút [16]. Cuối cùng, cho 75 mM AgNO_3 vào hỗn hợp và khuấy nhẹ. Lượng AgNO_3 cho vào sau cùng này đóng vai trò cung cấp nguyên tử Ag



Hình 1. Ảnh dung dịch bạc nitrat đổi màu trong quá trình khử và có hiện tượng “nở hoa”: (a) dung dịch bạc nitrat ở giai đoạn đầu có màu trắng đục; (b) khi nhiệt độ tăng đến 150 °C trong vòng 10 phút có màu nâu sẫm; (c) dung dịch sau 30 phút có màu sáng bạc

để đắp định hướng vào mầm thành dây nano [17]. Sau 30 phút, dung dịch có hiện tượng “nở hoa” đổi thành màu sáng bạc (Hình 1).

Công đoạn 2: Tách sản phẩm phụ

Để quá trình tách dây nano được thuận lợi, chúng tôi tiến hành loại bỏ tương đối các sản phẩm phụ như PVP và các tác nhân hòa tan chưa tác dụng hết trong dung dịch tổng hợp chứa sợi nano bạc thu được bằng etanol, acetone và nước cất. Trước hết, để nguội tự nhiên dung dịch chứa sợi nano bạc thu được và chờ lắng khoảng 12 tiếng. Dung dịch sau khi lắng có lớp bạc lấp lánh phía trên, còn bên dưới có màu tím (đó chính là polyme). Chiết lấy phần trên, bỏ phần dưới. Tiếp tục cho khoảng 200 mL etanol vào phần thu được và chờ lắng khoảng 24 giờ. Dung dịch dường như tách ra 3 phần: dung

môi ở trên, một phần ở giữa, còn dưới đáy màu tím là polyme còn lại lắng xuống. Lúc này khéo léo tách lấy phần giữa. Tiếp tục rửa dung dịch bằng ethanol và cho khoảng 100 mL acetone vào trong vòng 5 giờ. Loại bỏ phần trên và dưới, lấy phần bạc lấp lánh.

Công đoạn 3: Quay ly tâm tách lấy sợi nano bạc

Cho dung dịch dây bạc thu được ở công đoạn 2 vào ống ly tâm. Đặt ống vào máy và ly tâm ở tốc độ 3500 vòng/phút trong 30 phút. Ngừng ly tâm và lấy ống quay ra quan sát thấy có lớp bạc lấp lánh trên thành ống đó chính là sợi nano bạc. Lại bỏ chất lỏng và cho dung môi vào ống và đem đánh siêu âm. Ký hiệu các mẫu tương ứng với nồng độ 100, 150, 200, 250 mg PVP lần lượt là P100, P150, P200, P250 (Bảng 1).

Bảng 1. Ký hiệu mẫu và thành phần các chất ban đầu cho quá trình tổng hợp AgNW

TT	Ký hiệu	NaCl (mM)	AgNO ₃ tạo mầm (mM)	KBr (mM)	PVP (mg)	AgNO ₃ tạo dây (mM)
1	P100				100	
2	P150				150	
3	P200	15	6	2	200	75
4	P250				250	

2.3 Tổng hợp màng dẫn polyme từ sợi nano bạc

Cho toluen, acetone, isobutyl acetat, 2-heptanon, ethyl acetat, DMF... và polyme chính PVDF vào dung dịch chứa dây nano Ag nói trên, chúng tôi đã chế tạo được dung dịch keo dẫn điện có khả năng nhanh khô ở nhiệt độ phòng, các ký hiệu và giá trị điện trở như Bảng 2.

Bảng 2. Ký hiệu mẫu và giá trị điện trở của composite PVDF/Ag

TT	Ký hiệu	% kl Ag	\bar{R} (Ω)
1	A30	30	6,1
2	A50	50	4,3
3	A70	70	3,7
4	A80	80	2,8
5	A95	95	1,9

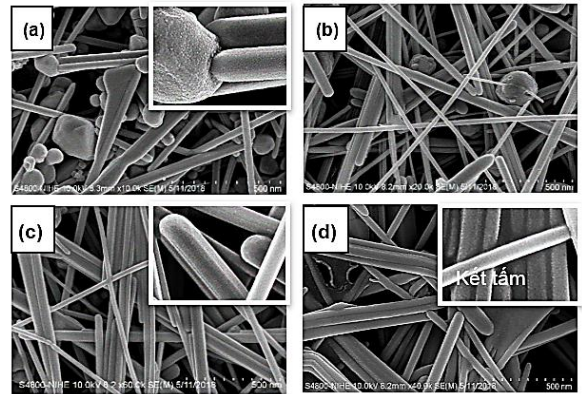
3 Kết quả và thảo luận

3.1 Cấu trúc, hình thái học và tính chất của sợi nano bạc

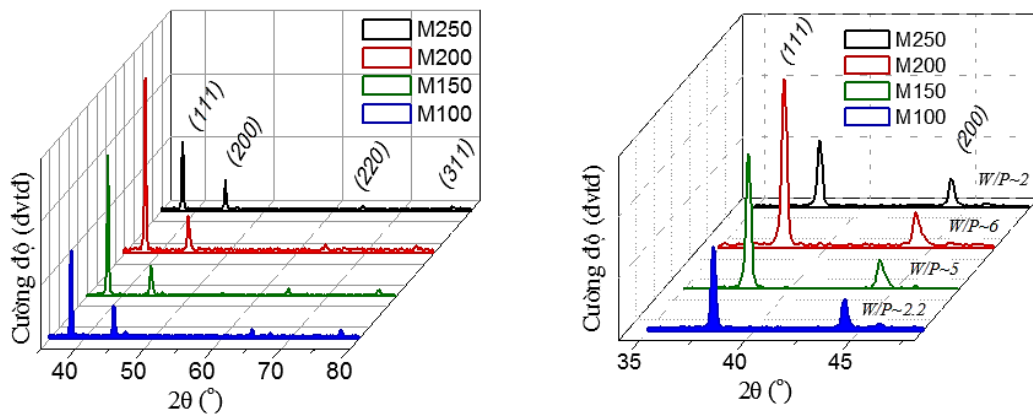
Ảnh SEM cho thấy ở nồng độ PVP dưới 150 mg, bạc nano hình thành ở dạng hạt và dạng sợi (Hình 2a, 2b). Điều này cho thấy PVP không những là tác nhân “bọc” mà còn là tác nhân điều khiển cấu trúc cho sự phát triển của dây nano Ag. Tuy nhiên, một lượng lớn PVP làm cho các dây nano kết hợp với nhau tạo thành màng (Hình 2d) [18-20]. Vì vậy, chúng tôi chọn 200 mg là lượng PVP phù hợp để tổng hợp sợi nano bạc có đường kính đồng nhất trong khoảng 30–50 nm và dài tới ~20 μm .

Bốn đỉnh nhiễu xạ đặc trưng ở 38,8, 45,2, 65 và 78° tương ứng với các mặt (111), (200), (220) và (311) (Hình 3) cho thấy sản phẩm là Ag. Điều đáng

lưu ý là tỷ lệ cường độ giữa các đỉnh ứng với mặt (111) và (200) có giá trị tương đối cao (6,0 – tỷ lệ lý thuyết là 2,5) [15, 18, 21], cho biết tốc độ tăng trưởng của mặt (111) cao hơn nhiều so với các mặt khác của sợi nano Ag.



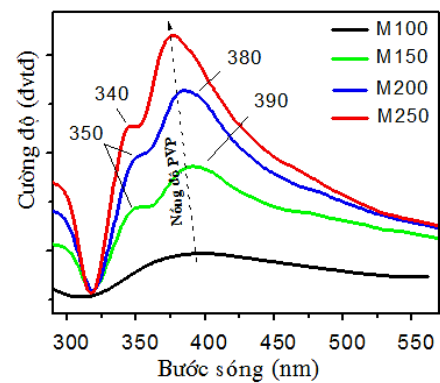
Hình 2. Ảnh SEM của sợi nano bạc chế tạo với PVP: (a) 100 mg; (b) 150 mg; (c) 200 mg; (d) 250 mg



Hình 3. Phổ nhiễu xạ tia X của sợi nano bạc

Trên phổ UV-Vis của mẫu xuất hiện của một đỉnh tại 400 nm với cường độ nhỏ (đường cong M100) cho thấy một vài hạt nano hình thành trong dung dịch. Mẫu M150 có hai đỉnh 350 và 490 nm và cường độ của chúng tăng lên khi tăng nồng độ PVP (đường cong M200 và M250) (Hình 4).

Trên phổ xuất hiện hai đỉnh với độ hấp thụ tương đối sắc nét ở 350 và 380 nm. Sự kích thích cộng hưởng tứ cực của các sợi nano bạc được thể hiện ở bước sóng 350 nm cùng với một đỉnh có cường độ cao tại 380 nm kết hợp với độ hấp thụ



Hình 4. Phổ hấp thụ UV-Vis của sợi nano bạc chế tạo với lượng PVP khác nhau

của các sợi nano bạc. Đỉnh cao khoảng 400 nm dần dần chuyển sang 380 nm khi tăng nồng độ PVP. Theo lý thuyết, đỉnh hấp thụ của các sợi nano bạc nằm trong khoảng 350–380 nm. Tuy nhiên, khi dư PVP, các liên kết hydro hình thành trên bề mặt của sợi bạc, dẫn đến các sợi sẽ tự liên kết và định hướng với nhau, bắt nguồn từ sự liên kết bởi các dao động của các sợi nano đứng gần nhau, dẫn đến sự hình thành các “màng” sợi nano bạc (Hình 2d) [6, 17-19].

Khác với những vật liệu có cấu trúc lớn, vật liệu nano đã thu hút sự chú ý đáng kể với các tính chất điện, nhiệt, quang và xúc tác độc đáo của chúng. Hơn nữa, các thuộc tính này có thể được điều chỉnh bằng cách kiểm soát hình dạng hoặc kích thước của cấu trúc nano [1, 18]. Nhiều bài báo đã chứng minh rằng các điện cực được chế tạo bằng các sợi bạc dài có thể đạt được độ dẫn điện tốt hơn so với sợi bạc ngắn [2, 3, 10, 12, 22]. Bên cạnh đó, để tạo hiệu suất tốt của mạng sợi nano,

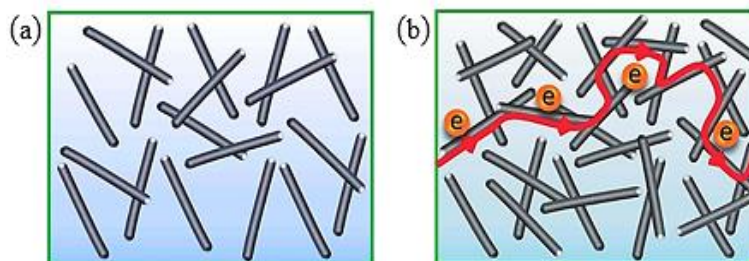
điện trở vuông của AgNW phải nhỏ hơn 10Ω , trong khi đó, đường kính phải dưới 50 nm.

3.2 Tính chất của màng composite dẫn điện

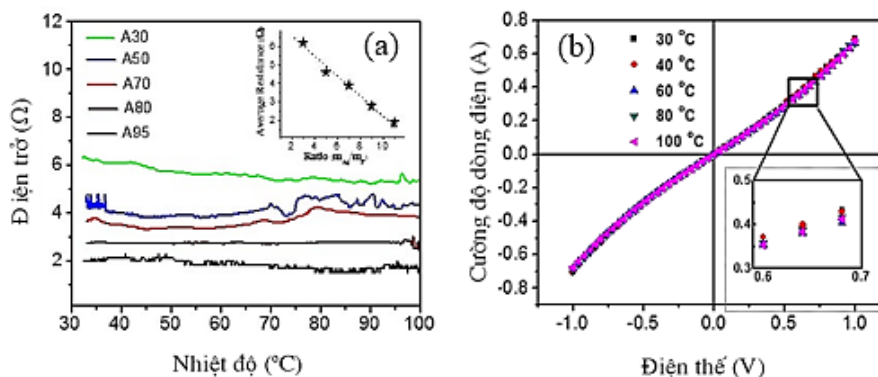
Như chúng ta đã biết, hiệu suất dẫn điện của màng phụ thuộc vào chiều dài các sợi nano và mật độ sợi bạc, nếu mật độ thấp sẽ không dẫn điện hoặc dẫn kém (Hình 5a).

Điện trở của màng được xác định thông qua phần mềm Cassy Lab kết nối trong hệ đo Keithley. Màng composite dẫn với các nồng độ Ag khác nhau có giá trị điện trở tương đối thấp, điện trở của các màng đều nhỏ hơn 10Ω và ít thay đổi theo nhiệt độ (Hình 6a).

Sự tiếp xúc giữa màng dẫn A80 và điện cực bạc (keo bạc) là tiếp xúc Ohmic trong toàn bộ vùng nhiệt độ của màng 30–100 °C. Đồ thị ở các nhiệt độ khác nhau tương đối tuyến tính, cho thấy điện trở của màng dẫn hầu như không thay đổi theo nhiệt độ ngoài (Hình 6b).



Hình 5. Mô hình mô tả sự liên kết và hiệu suất dẫn điện của sợi nano Ag trên đế màng (a) không dẫn điện, (b) dẫn điện



Hình 6. (a) Điện trở màng dẫn ở các nồng độ bạc khác nhau, (b) Đo U-I, theo nhiệt độ mẫu A80

Phương pháp polyol đã được các nhà nghiên cứu sử dụng rộng rãi để tổng hợp AgNWs và các thông số khác nhau được sử dụng để điều chỉnh hình thái cuối cùng của các dây nano.

Ở đây, chúng tôi đưa ra một quy trình tổng hợp tương đối tối ưu để tham khảo. Các chất tác nhân ban đầu, nhiệt độ phản ứng và thời gian phản ứng là các tham số quan trọng nhất. Chúng ta thường nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ đến hình thái học của dây nano. Trong thành phần của công thức, chỉ có AgNO_3 , KBr và NaCl được sử dụng để giảm thiểu số biến trong thử nghiệm.

AgNWs tổng hợp bằng phương pháp polyol thường được phủ bọc bằng PVP, và thành phần này thường khó loại bỏ bởi quá trình thanh lọc, tuy nhiên, việc giảm lượng PVP có thể giúp quá trình lọc rửa để thu lại Ag dây nano dễ dàng hơn. Khi các dây nano được ứng dụng cho các màng dẫn điện, thì cần quá trình ép hoặc ủ vật lý là cần thiết để đảm bảo sự tiếp xúc giữa các dây nano với nhau. Ngoài ra, lớp phủ PVP là ưa nước và hạn chế các dây nano phân tán trong dung môi dầu. Khi các dây nano được áp dụng cho vật liệu composite, các polyme khác nhau thường được sử dụng để pha trộn với các dây nano. Bề mặt ưa nước đã làm hạn chế sự pha trộn đồng nhất của AgNWs với polyme. Dung dịch keo dẫn điện được chúng tôi tổng hợp có màu trắng ánh bạc, sau khi phủ lên màng nhựa có khả năng bám dính và dẫn điện tốt (Hình 7).



Hình 7. Dung dịch keo dẫn điện và thử nghiệm độ dẫn điện của màng

Mặc dù vậy, trong nghiên cứu này chúng tôi đã thành công khi tổng hợp thành phần keo dẫn bám dính tốt, linh hoạt và dễ phủ lên các vật liệu khác nhau ở nhiệt độ thấp, khi không có sự hiện diện của thành phần nước và được thay thế bằng các dung môi dễ bay hơi, đây là vấn đề quan trọng đã được giải quyết trong nghiên cứu này.

4 Kết luận

Sợi nano bạc tổng hợp bởi quá trình polyol trong bài báo này được chúng tôi tối ưu hóa tại nồng độ 200 mg PVP, việc tổng hợp AgNW có chiều dài sợi từ 10 đến 20 μm và đường kính trung bình 50 nm là kết quả tương đối tốt để triển khai ứng dụng cho các nghiên cứu tiếp theo. Ngoài ra, màng dẫn composite Ag/PVDF thể hiện tính ổn định, khả năng uốn dẻo tuyệt vời với điện trở khoảng 3 Ω và giá trị điện trở hầu như không thay đổi trong quá trình gia nhiệt. Điều này cho thấy màng composite dẫn điện sẽ mở ra hướng mới cho phát triển các ứng dụng sau này.

Tài liệu tham khảo

1. Zhang P, Lin S, Hu J. Synthesis and characterization of size-controlled silver nanowires. *Physical Sciences Reviews*. 2018;3(11).
2. Zhang K, Du Y, Chen S. Sub 30nm silver nanowire synthesized using KBr as co-nucleant through one-pot polyol method for optoelectronic applications. *Organic Electronics*. 2015;26:380-5.
3. Anh Dinh D, Nam Hui K, San Hui K, Singh J, Kumar P, Zhou W. Silver Nanowires: A Promising Transparent Conducting Electrode Material for Optoelectronic and Electronic Applications. *Reviews in Advanced Sciences and Engineering*. 2013;2(4):324-45.
4. Arahman N, Fahrina A, Amalia S, Sunarya R, Mulyati S. Effect of PVP on the characteristic of modified membranes made from waste PET bottles for humic acid removal. *F1000Research*. 2017;6:668.
5. Zhang P, Wei Y, Ou M, Huang Z, Lin S, Tu Y, et al. Behind the role of bromide ions in the synthesis of

- ultrathin silver nanowires. *Materials Letters*. 2018; 213:23-6.
6. Junaidi J, Yunus M, Sabarman H, Suharyadi E, Triyana K. Effect of Stirring rate on The Synthesis Silver Nanowires using Polyvinyl Alcohol as A Capping Agent by Polyol Process. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*. 2016;6:365-9.
 7. Zhang P, Wyman I, Hu J, Lin S, Zhong Z, Tu Y, et al. Silver nanowires: Synthesis technologies, growth mechanism and multifunctional applications. *Materials Science and Engineering: B*. 2017;223:1-23.
 8. Koczur KM, Mourdikoudis S, Polavarapu L, Skrabalak SE. Polyvinylpyrrolidone (PVP) in nanoparticle synthesis. *Dalton Transactions*. 2015; 44(41):17883-905.
 9. Junaidi J, Riyanto A, Triyana K, Khairurrijal K. Silver nanorods layer based on polyvinyl alcohol on glass substrates by dip-coating method. *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya (JPFA)*. 2019;9(1):1.
 10. Lee P, Lee J, Lee H, Yeo J, Hong S, Nam KH, et al. Highly stretchable and highly conductive metal electrode by very long metal nanowire percolation network. *Advanced Materials*. 2012;24(25):3326-32.
 11. Zhang Z, Shen W, Xue J, Liu Y, Liu Y, Yan P, et al. Recent advances in synthetic methods and applications of silver nanostructures. *Nanoscale Research Letters*. 2018;13(1):54.
 12. Lee J, Lee P, Lee HB, Hong S, Lee I, Yeo J, et al. Room-Temperature Nanosoldering of a Very Long Metal Nanowire Network by Conducting-Polymer-Assisted Joining for a Flexible Touch-Panel Application. *Advanced Functional Materials*. 2013; 23(34):4171-6.
 13. Amirjani A, Marashi P, Fatmehsari DH. Effect of AgNO_3 addition rate on aspect ratio of CuCl_2 -mediated synthesized silver nanowires using response surface methodology. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2014;444:33-9.
 14. Ran Y, He W, Wang K, Ji S, Ye C. A one-step route to Ag nanowires with a diameter below 40 nm and an aspect ratio above 1000. *Chemical Communications*. 2014;50(94):14877-80.
 15. Li D, Han T, Zhang L, Zhang H, Chen H. Flexible transparent electrodes based on silver nanowires synthesized via a simple method. *Royal Society Open Science*. 2017;4(9):170756.
 16. Chiang Y-F, Liu P-C, Kuo W-T, Lin CB. Growth Mechanism of Nano-silver Wires. *Journal of Applied Science and Engineering*. 2017;20(1):47-54.
 17. Sun Y, Gates B, Mayers B, Xia Y. Crystalline Silver Nanowires by Soft Solution Processing. *Nano Letters*. 2002;2(2):165-8.
 18. Junaidi, Triyana K, Suharyadi E, Harsojo, Wu LYL. The Roles of Polyvinyl Alcohol (PVA) as the Capping Agent on the Polyol Method for Synthesizing Silver Nanowires. *Journal of Nano Research*. 2017;49:174-80.
 19. Bi Y, Hu H, Lu G. Highly ordered rectangular silver nanowire monolayers: water-assisted synthesis and galvanic replacement reaction with HAuCl_4 . *Chemical Communications*. 2010;46(4):598-600.
 20. Cui HW, Jiu JT, Sugahara T, Nagao S, Sukanuma K, Uchida H. 'Chrysanthemum petal' arrangements of silver nano wires. *Nanotechnology*. 2014;25(48): 485705.
 21. Suharyadi E, Harsojo, Triyana K, Junaidi, Junaidi. Controlling Shapes and Sizes of Synthesis Silver Nanowires by Polyol Method using Polyvinyl Alcohol and Polyvinyl Pyrrolidone. *Indian Journal of Science and Technology*. 2017;10(27):1-8.
 22. Wu J-T, Lien-Chung Hsu S, Tsai M-H, Liu Y-F, Hwang W-S. Direct ink-jet printing of silver nitrate-silver nanowire hybrid inks to fabricate silver conductive lines. *Journal of Materials Chemistry*. 2012;22(31).