

SYNTHESIZE AND INVESTIGATE THE EFFECT OF TEMPERATURE ON THE ABSORPTION SPECTRUM OF SILVER NANOWIRES BY POLYOL METHOD**Do Thi Hue***, Cao Tien Khoa

TNU - University of Education

ARTICLE INFO		ABSTRACT
Received:	12/01/2024	In this work, we synthesize and investigate the influence of temperature on the formation of silver nanowires using the polyol method. Silver nanowires uniform in shape and size were synthesized using Polyvinylpyrrolidone (PVP- 400,000 MW) and fresh synthesised silver chloride (AgCl). The precursor for the synthesis is silver nitrate in ethylene glycol (EG) medium. The reaction process was optimized by adjusting the reaction temperature from 140°C to 170°C through UV-VIS plasmon absorption spectroscopy, SEM transmission electron microscopy images, and ray diffraction XRD. The results show that the formation and growth of silver nanowires depends on the reaction temperature. When the temperature is below 150°C, the synthesis efficiency of silver nanowires is low. In the product, there exist other silver structures such as silver nanorods, silver nanostructures cuber and some other structures. When the synthesis temperature is 160°C - 170°C, silver nanowires are formed that are uniform in shape and size, and the efficiency of synthesizing silver nanowires is highest. Silver nanowires have aspect ratio over 100 with a diameter of about 20 nm, and length over 2µm.
Revised:	29/01/2024	
Published:	31/01/2024	
KEYWORDS		
Silver nanowires		
Polyol		
Optical properties		
Fresh AgCl		
Temperature		

TỔNG HỢP VÀ KHẢO SÁT ẢNH HƯỞNG CỦA NHIỆT ĐỘ LÊN PHỔ HẤP THỤ CỦA DÂY NANO BẠC BẰNG PHƯƠNG PHÁP POLYOL**Đỗ Thị Huế***, Cao Tiến Khoa

Trường Đại học Sư phạm - ĐH Thái Nguyên

THÔNG TIN BÀI BÁO		TÓM TẮT
Ngày nhận bài:	12/01/2024	Trong nghiên cứu này chúng tôi tổng hợp và khảo sát sự ảnh hưởng của nhiệt độ lên sự hình thành các dây nano bạc sử dụng phương pháp polyol. Các dây nano bạc đồng nhất về hình dạng và kích thước đã được tổng hợp sử dụng Polyvinylpyrrolidone (PVP- 400.000 MW) và bạc clorua (AgCl) mới tổng hợp. Tiền chất cho quá trình tổng hợp là bạc nitrate trong môi trường ethylene glycol (EG). Quá trình phản ứng đã được tối ưu hóa bằng cách điều chỉnh nhiệt độ phản ứng từ 140°C đến 170°C thông qua phổ hấp thụ plasmon UV-VIS, ảnh hiển vi điện tử truyền qua SEM, và gián đồ nhiễu xạ tia X. Kết quả cho thấy sự hình thành và phát triển của các dây nano bạc phụ thuộc vào nhiệt độ phản ứng. Khi nhiệt độ thấp dưới 150°C hiệu suất tổng hợp các dây nano bạc thấp, trong sản phẩm tồn tại các cấu trúc bạc khác như nano bạc dạng thanh, các cấu trúc nano bạc vòng và một số cấu trúc khác. Khi nhiệt độ của quá trình tổng hợp là 160°C - 170°C thì các dây nano bạc được tạo thành đồng nhất về hình dạng và kích thước, hiệu suất tổng hợp dây nano bạc là cao nhất với các dây có đường kính khoảng 20 nm, chiều dài trên 2µm.
Ngày hoàn thiện:	29/01/2024	
Ngày đăng:	31/01/2024	
TỪ KHÓA		
Dây nano bạc		
Polyol		
Đặc tính quang		
AgCl tươi		
Nhiệt độ		

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.9581>* Corresponding author. Email: huedt@tnue.edu.vn

1. Giới thiệu

Các cấu trúc nano bạc nói chung và các dây nano bạc (AgNWs) nói riêng đang ngày càng được các nhà khoa học trong và ngoài nước quan tâm nghiên cứu bởi các tính chất độc đáo và đa ứng dụng của chúng. Do hiệu ứng cộng hưởng plasmon khi có ánh sáng kích thích các điện tử trên bề mặt nên các cấu trúc nano bạc có các tính chất quang đặc thù phụ thuộc vào hình dạng, cấu trúc và kích thước [1]. Chính các đặc tính này đã làm cho các cấu trúc nano bạc có nhiều ứng dụng trong các lĩnh vực của đời sống. Chẳng hạn như với khả năng tăng cường mạnh trường điện từ tới, các cấu trúc nano bạc đặc biệt là các cấu trúc dị hướng với nhiều điểm “hot-spot” có khả năng phát hiện được các chất màu hữu cơ độc hại nồng độ cực thấp với hệ số tăng cường cao [2]. Các cấu trúc nano bạc có đặc tính kháng khuẩn, diệt khuẩn, diệt vi rút đã được khai thác nhiều kể cả trong nghiên cứu cơ bản và ứng dụng. Các hạt nano bạc với hình dạng, kích thước, cấu trúc khác nhau thì khả năng kháng khuẩn cũng khác nhau [3]. Ngoài ra nano bạc còn có mặt trong phần lớn các sản phẩm tiêu dùng đang được bán trên thị trường, chẳng hạn như dung dịch rửa tay, dung dịch vệ sinh, các loại xà phòng, nước rửa chén, bát, kem đánh răng... và trong quần áo hay các thiết bị dùng để nấu ăn,... đến các loại thiết bị điện tử như tủ lạnh, máy điều hòa, máy hút ẩm, máy lọc không khí... Có thể nói với tác dụng kháng và diệt khuẩn các hạt nano bạc đã và đang có ảnh hưởng sâu vào đời sống của con người trên mọi phương diện. Không những thế các cấu trúc nano bạc còn được sử dụng trong các ứng dụng cảm biến sinh học [4], xử lý nước thải nhuộm nhờ vào hiệu ứng quang xúc tác, phân hủy các chất màu hữu cơ độc hại một cách nhanh chóng và hiệu quả [5], [6].

Trong thập kỷ đầu tiên của thế kỷ 21, nhiều nhà nghiên cứu đã tập trung cho việc tổng hợp các dây nano (AgNWs) với kích thước đồng đều và hiệu suất tổng hợp cao. Những nỗ lực này đã dẫn đến sự phát triển của nhiều phương pháp để chuẩn bị AgNWs, đồng thời tạo ra một loạt các ứng dụng tiềm năng của AgNWs. Các dây nano bạc (AgNWs) vừa có tính dẫn điện cao vừa có khả năng hấp thụ ánh sáng trong vùng nhìn thấy và được sử dụng trong nhiều ứng dụng như các điện cực trong suốt, các cảm biến nhiệt độ và áp suất. Những tiến bộ đã đạt được với một loạt các cấu trúc nano bạc và các cấu trúc nano kim loại một chiều (1-D) khác và các tính chất vật lý của chúng đã được thảo luận [7]. Gần đây nhất, đánh giá về việc sử dụng AgNWs làm phim dẫn điện trong suốt (TCF) [8].

Tổng hợp AgNW đã được xem xét theo nhiều phương pháp khác nhau. Ví dụ, phương pháp điện hóa tổng hợp được AgNW với DNA làm mẫu [9]. AgNW được tổng hợp bằng phản ứng điện hóa với sự có mặt của dung dịch AgNO_3 và axit ethylenediamine tetraacetic (EDTA) trong môi trường khí N_2 . Kết quả thu được AgNW có đường kính 40 nm và chiều dài khoảng lên tới hơn 6 μm [10]. Phương pháp chiếu xạ đã tổng hợp được AgNW, trong đó hình dạng của AgNW bị ảnh hưởng bởi sự nóng chảy trong quá trình phân hủy nhiệt [11]. Để tăng hiệu suất quang điện của AgNW, Niu và cộng sự (2018) đã tổng hợp được AgNW có đường kính khoảng 13 nm và chiều dài khoảng 40 μm bằng phương pháp polyol trong sự hiện diện của các gốc benzoic [12]. Để giảm thiểu việc phát sinh sản phẩm phụ trong phương pháp polyol, ảnh hưởng của nồng độ AgNO_3 , nồng độ PVP, khối lượng mol PVP đã sử dụng và tỷ lệ PVP được xác định đã khảo sát [13], [14]. Tuy nhiên, AgNW được hình thành thu được từ các phương pháp trên vẫn còn sản phẩm phụ. Trong số các phương pháp tổng hợp AgNW thì phương pháp polyol cho kết quả cao nhất hiệu quả tổng hợp, kiểm soát tính đồng nhất, tỷ lệ các cạnh và đặc biệt là tiết kiệm thời gian và chi phí. Hầu hết các nghiên cứu đều sử dụng AgCl sẵn có, nên hiệu quả tổng hợp chưa cao do vẫn có sản phẩm phụ. Vì vậy, nghiên cứu này tối ưu hóa thời gian phản ứng và nhiệt độ để tổng hợp AgNW. Đồng thời, sử dụng AgCl mới tổng hợp được để xúc tác cho quá trình tổng hợp AgNW tăng hiệu suất phản ứng.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Nguyên liệu – Hóa chất

Polyvinylpyrrolidone (PVP, $(C_6H_9NO)_n$, 400,000 MW), bạc nitrate ($AgNO_3$, 99%), được mua của hãng Sigma Aldrich. Natri clorua ($NaCl$, 99,8%), và ethylene glycol (EG, $C_2H_6O_2$, 99,8%) được cung cấp bởi Merck. Nước khử ion được sử dụng trong quá trình thực nghiệm. Các hóa chất được sử dụng trực tiếp mà không cần thông qua bất kì bước làm sạch nào.

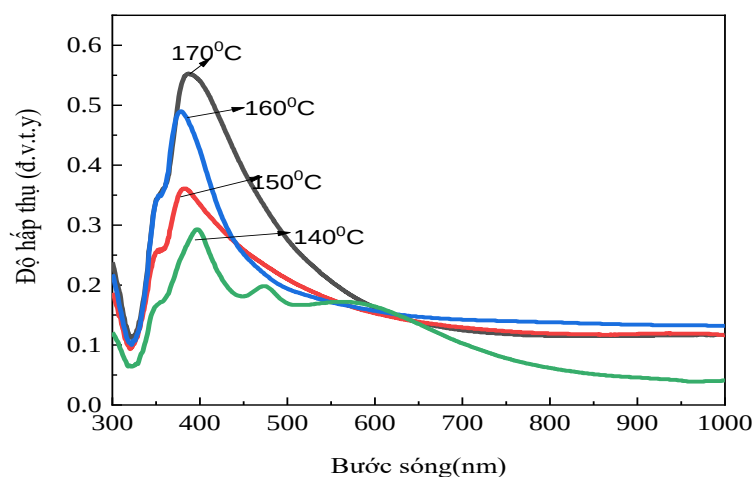
2.2. Quy trình tổng hợp

Các AgNW được tổng hợp sử dụng phương pháp polyol trong đó $AgCl$ được tổng hợp mới theo quy trình sau đây: Hỗn hợp gồm 5 ml $AgNO_3$ 0,5 M và 5 ml $NaCl$ 1 M được khuấy từ với tốc độ 800 vòng/phút, khoảng 1 phút. Ngay sau đó $AgCl$ đã được tổng hợp. Kết tủa được tách ra khỏi phần nổi phía trên, rửa một lần bằng nước khử ion, và làm khô trong chân không. Tiếp theo là quá trình tổng hợp AgNW: 0,34 g PVP 40000 MW được phân tán trong 20 ml EG trong một bình ba cổ, dung dịch được khuấy từ ở tốc độ 800 vòng/phút tại các nhiệt độ khác nhau: $140^\circ C$, $150^\circ C$, $160^\circ C$, $170^\circ C$. Hai cổ của bình phản ứng luôn được đóng kín bằng nắp kính mờ ngâm trong dung dịch EG và PVP, và được bọc màng parafilm. Khi dung dịch đạt nhiệt độ ổn định, 25 mg $AgCl$ mới điều chế được thêm vào một lần, dung dịch có màu vàng sáng. Sau 3 phút, 0,11g $AgNO_3$ được thêm vào một lần và bình đáy tròn cũng được đậy kín bằng nắp và bọc màng parafilm. Cứ sau 5-10 phút, lấy 0,1 ml dung dịch ra để thực hiện các khảo sát cần thiết. Thời gian phản ứng khoảng 60 phút.

2.3. Phương pháp đo đạc

Phổ hấp thụ cộng hưởng plasmon của các dung dịch được đo trên hệ V-770 UV-Vis có phạm vi bước sóng trong khoảng từ 200 nm -1000 nm. Hình thái, cấu trúc của các hạt nano bạc được khảo sát trên hệ kính hiển vi điện tử quét SEM (Hitachi S4800) hoạt động ở 10 kV. Cấu trúc tinh thể của các hạt nano bạc được xác định thông qua quang phổ nhiễu xạ tia X được khảo sát trên hệ X-ray (Bruker D8 Advance) với bức xạ Cu-K α (bước sóng 0,154056 nm).

3. Kết quả và thảo luận



Hình 1. Phổ hấp thụ UV-VIS của các dây nano bạc tổng hợp ở các nhiệt độ khác nhau: $140^\circ C$, $150^\circ C$, $160^\circ C$, $170^\circ C$

Tính chất quang học của AgNW được giải thích dựa vào hiệu ứng cộng hưởng plasmon bề mặt do sự tương tác của trường điện từ của ánh sáng tới với các điện tử tự do trên bề mặt của dây nano. Sự phân bố trường điện từ của ánh sáng tới phụ thuộc rất nhiều vào hình dạng và cấu trúc

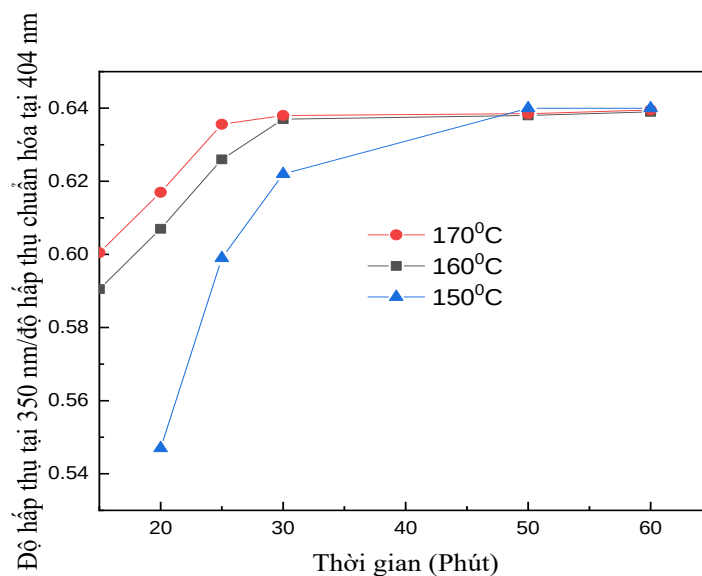
của các hạt nano kim loại. Do đó, tính chất quang học của AgNW phụ thuộc vào tỷ lệ các cạnh của chúng. Khảo sát ảnh hưởng của nhiệt độ đến sự sinh trưởng và hình thành AgNW, chúng tôi thực hiện các thí nghiệm với cùng các thông số của các chất tham gia phản ứng, chỉ thay đổi nhiệt độ. Nhiệt độ phản ứng được điều chỉnh từ 140°C đến 170°C. Hình 1 cho thấy kết quả của sự ảnh hưởng của nhiệt độ đến tính chất quang của AgNW. Trong quy trình tổng hợp này EG vừa đóng vai trò là dung môi vừa đóng vai trò là chất khử, khử ion Ag^+ trong tiền chất AgNO_3 thành các nguyên tử Ag^0 theo các phương trình sau đây:



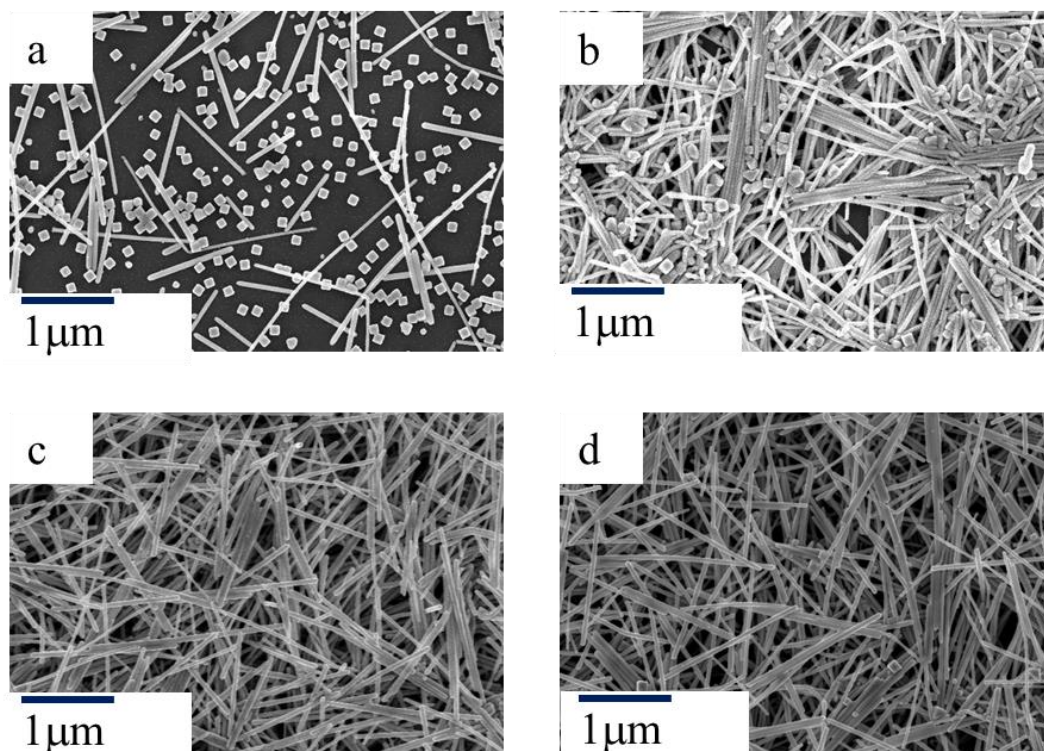
Trong giai đoạn đầu các nguyên tử Ag kết hợp lại với nhau thành các hạt dạng cầu. Sau đó tùy thuộc nhiệt độ và nồng độ các chất tham gia phản ứng các hạt nano bạc được phát triển theo các hướng ưu tiên khác nhau hình thành các cấu trúc khác nhau: khi nhiệt độ thấp có xu hướng hình thành các cấu trúc lập phương, còn khi nhiệt độ cao thì hình thành các dây nano bạc [15].

Khi nhiệt độ phản ứng là 140°C thì phổ hấp thụ của dung dịch có 4 đỉnh hấp thụ cộng hưởng plasmon, trong khi nhiệt độ tăng lên 150°C, 160°C, 170°C thì các dung dịch có dạng phổ giống nhau với hai đỉnh cộng hưởng plasmon đặc trưng của cấu trúc 1 chiều – dây nano bạc. Tại 140°C, sự xuất hiện của các đỉnh cộng hưởng ở bước sóng 350 nm và khoảng 400 nm được quy cho là sự đóng góp của các thanh nano bạc [16]. Trong khi đó, sự xuất hiện của hai đỉnh cộng hưởng ở sóng dài được quy cho là sự đóng góp của các điện tử tự do của các hạt nano bạc với các cấu trúc khác. Điều này chỉ ra rằng ở 140°C, các hạt nano bạc với nhiều hình dạng khác nhau đã được hình thành trong dung dịch. Đối với nhiệt độ phản ứng từ 150°C đến 170°C, sự đóng góp cộng hưởng plasmon bề mặt của các đỉnh cộng hưởng cũng như vị trí của đỉnh phụ thuộc vào kích thước chiều ngang và chiều dài của AgNW [17]. Phổ hấp thụ của AgNWs được đặc trưng bởi hai đỉnh cộng hưởng nằm ở bước sóng 350 nm và 377 nm. Sự giống nhau của các phổ hấp thụ khi nhiệt độ phản ứng từ 150°C đến 170°C cho thấy trong dung dịch chủ yếu có các dây nano bạc. Vai trò của nhiệt độ đối với sự hình thành và phát triển của các dây nano bạc được giải thích thông qua vai trò của ion Cl^- trong dung dịch. Hằng số phân ly của AgCl thay đổi theo nhiệt độ. Khi nhiệt độ nhỏ hơn 140°C thì hằng số phân ly của AgCl thấp (1×10^{-9}), dẫn đến phản ứng $\text{AgCl} \rightarrow \text{Ag}^+ + \text{Cl}^-$ (3) diễn ra theo chiều từ trái sang phải. Các ion Cl^- trong dung dịch liên kết tốt hơn với Ag (100) dẫn đến sự phát triển của các hạt nano bạc thành tinh thể khối lập phương. Trong một số nghiên cứu trước đây, vai trò của các ion Cl^- trong việc tạo ra các ống nano Ag đã được chứng minh rõ ràng [18]. Ngược lại, khi nhiệt độ vượt quá 150°C, phản ứng (3) chủ yếu diễn ra theo hướng ngược lại, do đó làm tăng nồng độ AgCl trong dung dịch. Tốc độ dịch chuyển của phản ứng tăng tỷ lệ thuận với nhiệt độ, dẫn đến nồng độ AgCl tăng. Điều này làm cho tốc độ tăng trưởng từ tinh thể nano bạc hình cầu thành AgNW nhanh hơn. Kết quả là AgNW có thể được tổng hợp đồng đều trong vòng chưa đầy 10 phút ở nhiệt độ cao 170°C. Sự hình thành đồng nhất các dây nano bạc làm cho phổ cộng hưởng có các đỉnh đặc trưng của cấu trúc bạc một chiều đồng thời làm tăng độ hấp thụ. Trong khi các mẫu ở nhiệt độ thấp tồn tại nhiều cấu trúc khác nhau, sự chồng chập phổ dẫn đến sự xuất hiện nhiều đỉnh cộng hưởng plasmon và làm giảm độ hấp thụ trong dung dịch.

Hình 2 biểu thị cơ chế tăng trưởng của các cấu trúc nano bạc trong dung dịch. Sự phụ thuộc tỉ số độ hấp thụ ở bước sóng 350 nm với độ hấp thụ chuẩn hóa tại bước sóng 404 nm quan liên đến thời gian phản ứng. Sự tăng dần về kích thước của AgNW được quan sát thông qua động học tăng trưởng chậm của chúng. Trong giai đoạn đầu của phản ứng (tức là 30 phút đối với mẫu tổng hợp ở 150°C và 20 phút đối với mẫu tổng hợp ở 160°C và 170°C) các hạt nano bạc hình cầu trải qua quá trình phát triển chậm bất đẳng hướng để tạo thành thanh nano bạc, sau đó được nhanh chóng thành AgNW thông qua quá trình động học ở giai đoạn cuối của phản ứng. Tốc độ chuyển từ hình cầu sang dây nano bạc tăng lên khi nhiệt độ phản ứng cao hơn.



Hình 2. Sự phụ thuộc của độ hấp thụ tỉ đối giữa đỉnh cộng hưởng tại 350 nm và 404 nm vào thời gian phản ứng của các mẫu tổng hợp tại 150 °C, 160 °C, 170 °C

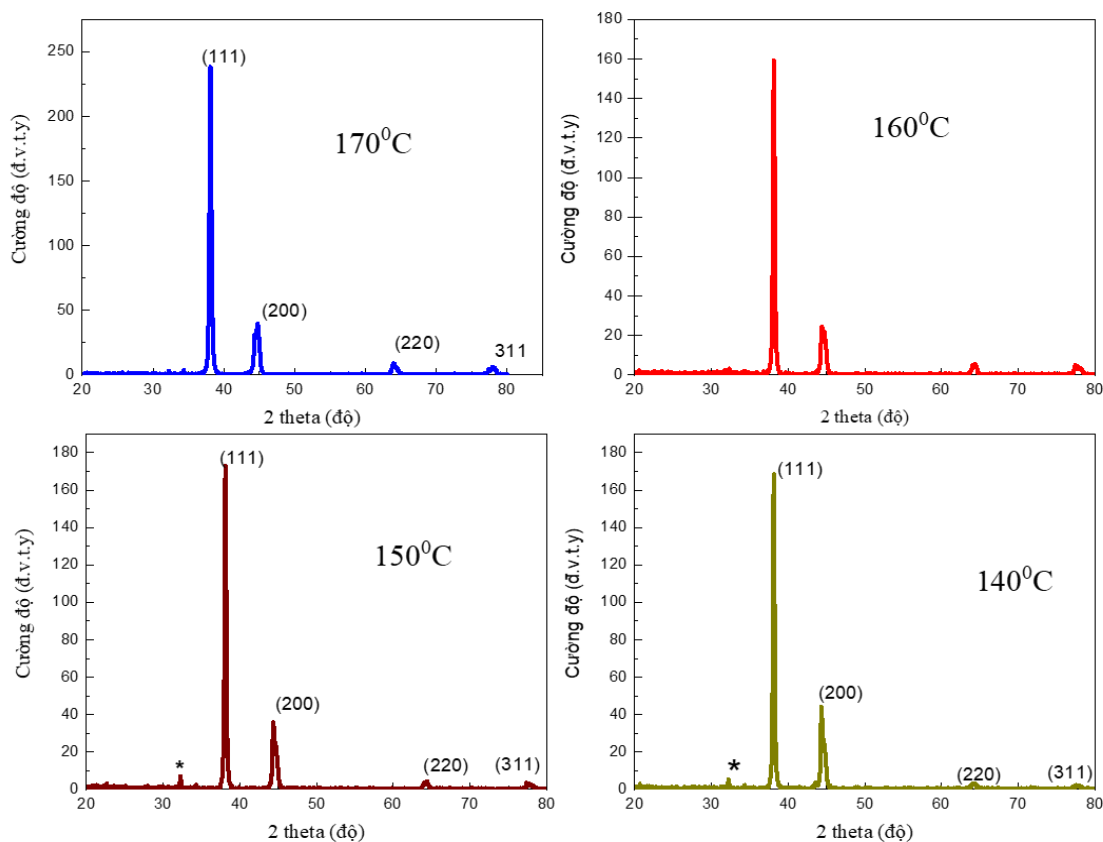


Hình 3. Ảnh SEM của các dung dịch hạt nano bạc khi kết thúc phản ứng ở các nhiệt độ khác nhau 140 °C (a), 150 °C (b), 160 °C (c) và 170 °C (d) với độ phóng đại 20000 lần, thang đo được chèn vào các hình là 1 μm

Hình 3 thể hiện ảnh SEM của hạt nano bạc được tổng hợp ở các nhiệt độ khác nhau khi kết thúc phản ứng. Có thể thấy được sự ảnh hưởng của nhiệt độ đến hình dạng cũng như hiệu suất tổng hợp của dây nano bạc. Ở 140°C, kết quả cho thấy trong dung dịch có các thanh nano bạc, các cấu trúc bạc lập phương và một số ít dây nano bạc. Ngoài ra cũng có thể thấy một số cấu trúc

khác của hạt nano bạc. Điều này cũng đã được phản ánh ở dạng phổ hấp thụ của dung dịch sau phản ứng (Hình 1). Khi nhiệt độ phản ứng là 150°C , số lượng các dây nano bạc trong dung dịch tăng lên rõ rệt, các dây nano bạc là sản phẩm chủ yếu khi phản ứng kết thúc. Tuy nhiên, trong dung dịch vẫn có một số ít các cấu trúc khác của hạt bạc. Điều này giải thích tại sao phổ hấp thụ cộng hưởng plasmon của dung dịch thu được khi tổng hợp ở 150°C có dạng đặc trưng của các dây nano bạc nhưng độ hấp thụ không cao và độ rộng phổ lớn. Đó là do sự chồng chập phổ của các dây nano bạc với các cấu trúc dạng khác. Tiếp tục tăng nhiệt độ phản ứng, trong dung dịch thu được các dây nano bạc với hiệu suất cao có đường kính khoảng 20 nm và chiều dài gấp khoảng hơn 100 lần đường kính. Sự đồng dạng về hình dạng, kích thước của các dây nano bạc thể hiện trong hình 3c và 3d cũng như phổ hấp thụ plasmon của chúng trong Hình 1.

Hình 4 biểu thị giản đồ nhiễu xạ tia X (XRD) của AgNW khi kết thúc phản ứng ở bốn nhiệt độ (140°C , 150°C , 160°C và 170°C). Tại các nhiệt độ, giản đồ nhiễu xạ đều xuất hiện 4 đỉnh ở góc 2θ : $38,18^{\circ}$, $44,47^{\circ}$, $64,02^{\circ}$ và $78,23^{\circ}$ tương ứng với vị trí các mặt phẳng mạng (111), (200), (220) và (311) của tinh thể nano Ag [19]. Tuy nhiên, tại nhiệt độ 140°C , và 150°C thì cường độ nhiễu xạ tại các góc $64,02^{\circ}$ và $78,23^{\circ}$ quan sát được yếu hơn so với khi nhiệt độ cao. Tỷ lệ tương đối của cường độ nhiễu xạ tại các đỉnh của mặt phẳng (111) và mặt phẳng (200) đối với chất tổng hợp được mẫu ở 140°C , 150°C , 160°C và 170°C tương ứng là 3,81, 4,86, 6,62 và 6,12. Chứng tỏ sự tăng trưởng dọc theo chiều dài ngày của AgNW trên mặt (111) thể hiện mức độ cao nhất đối với mẫu tổng hợp ở nhiệt độ 160°C , và 170°C . Các mẫu tổng hợp ở nhiệt độ thấp hơn ngoài các đỉnh nhiễu xạ đặc trưng của tinh thể bạc còn có thêm đỉnh nhiễu xạ tại vị trí (*) với góc 2θ là $32,25^{\circ}$. Đây là đỉnh đặc trưng của AgCl (JCPDS no.14-0255). Có thể nói rằng, trong các mẫu này AgCl bị hòa tan và tham gia vào sự phát triển của AgNW theo thời gian phản ứng.



Hình 4. Giản đồ nhiễu xạ tia X của các dây nano bạc tổng hợp ở các nhiệt độ khác nhau 170°C , 160°C , 150°C và 140°C

4. Kết luận

Các dây nano bạc đã được tổng hợp theo phương pháp Polyol sử dụng AgCl tươi với nhiệt độ phản ứng khảo sát trong khoảng từ 140°C đến 170°C. Kết quả cho thấy rằng nhiệt độ phản ứng ảnh hưởng rất lớn đến sự hình thành và phát triển của các dây nano bạc. Ở 140°C, các dây nano bạc đã được hình thành nhưng nó có thể coi là sản phẩm phụ của phản ứng bởi các sản phẩm chính tạo thành chủ yếu là thanh nano bạc và các cấu trúc bạc vuông. Khi nhiệt độ tăng lên cao hơn từ 150°C đến 170°C, các dây nano bạc đã được tổng hợp với hiệu suất cao. Nhiệt độ phù hợp nhất cho quá trình tổng hợp dây nano bạc là từ 160°C -170°C vì ở nhiệt độ này gần như không có sản phẩm phụ, các dây nano bạc được tạo thành một cách đồng nhất về cả hình dạng và kích thước. Nhiệt độ cao hơn nữa khiến quá trình thực hiện trở nên khó khăn hơn vì vậy ngưỡng 170°C là phù hợp cho phản ứng tổng hợp vừa đảm bảo hiệu suất vừa đảm bảo an toàn trong thực nghiệm. Các kết quả phân tích còn cho thấy khi nhiệt độ cao quá trình hình thành dây nano bạc nhanh hơn, AgCl trong dung dịch sớm được sử dụng hết để tham gia vào sự phát triển định hướng hình thành các dây nano bạc.

Lời cảm ơn

Bài báo được sự hỗ trợ kinh phí từ đề tài cấp cơ sở mã số TNUE-2023-07.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] S. I. Rasmagin and L. A. Apresyan, "Analysis of the Optical Properties of Silver Nanoparticles," *Opt. Spectrosc.*, vol. 128, no. 3, pp. 327–330, Mar. 2020, doi: 10.1134/S0030400X20030169.
- [2] R. X. He, R. Liang, and P. Peng, "Effect of the size of silver nanoparticles on SERS signal enhancement," *J. Nanopart Res.*, vol. 19, 2017, Art. no. 267, doi: 10.1007/s11051-017-3953-0.
- [3] K. K. Tran, P. H. Hoang, T. H. Tran, T. V. Dinh, and T. H. Do, "Biosynthesis of silver nanoparticles using tea leaf extract (*camellia sinensis*) for photocatalyst and antibacterial effect," *Heliyon*, vol. 9, no. 10, Oct. 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e20707.
- [4] K. V. Alex, P. T. Pavai, R. Rugmini, M. S. Prasad, K. Kamakshi, and K. C. Sekhar, "Green Synthesized Ag Nanoparticles for Bio-Sensing and Photocatalytic Applications," *ACS Omega*, vol. 5, no. 22, pp. 13123–13129, Jun. 2020, doi: 10.1021/acsomega.0c01136.
- [5] T. M. Dinh, K. K. Tran, A. T. Le, T. M. N. Nguyen, T. H. Do, and I. Liau, "Green synthesis of silver nanoparticles using *Mentha crisper* L. leaf extract for treatment of dye wastewater," *Ministry of Science and Technology, Vietnam*, vol. 65, no. 3, pp. 14–20, Sep. 2023, doi: 10.31276/VJSTE.65(3).14-20.
- [6] V. T. Ha, T. Q. Tran, and T. H. Do, "Green Synthesis Silver Nanoparticles Using *Salix* Semi-Solid Extract For Photocatalytic Effect," *TNU Journal of Science and Technology*, vol. 228, no. 10, pp. 457–464, Jul. 2023, doi: 10.34238/tnu-jst.8275.
- [7] S. Hou, J. Liu, F. Shi, G. X. Zhao, J. W. Tan, and G. Wang, "Recent Advances in Silver Nanowires Electrodes for Flexible Organic/Perovskite Light-Emitting Diodes," *Frontiers in Chemistry*, vol. 10, Mar. 10, 2022, doi: 10.3389/fchem.2022.864186.
- [8] H. Ha, C. Amicucci, P. Matteini, and B. Hwang, "Mini review of synthesis strategies of silver nanowires and their applications," *Colloids and Interface Science Communications*, vol. 50, Sep. 01, 2022, doi: 10.1016/j.colcom.2022.100663.
- [9] H. Sim *et al.*, "Five-minute synthesis of silver nanowires and their roll-to-roll processing for large-area organic light emitting diodes," *Nanoscale*, vol. 10, no. 25, pp. 12087–12092, Jul. 2018, doi: 10.1039/c8nr02242a.
- [10] J.-J. Zhu, Q.-F. Qiu, H. Wang, J.-R. Zhang, J.-M. Zhu, and Z.-Q. Chen, "Synthesis of silver nanowires by a sonoelectrochemical method," *Inorganic Chemistry Communications*, vol. 5, pp. 242–244, 2002.
- [11] D. C. Choo and T. W. Kim, "Degradation mechanisms of silver nanowire electrodes under ultraviolet irradiation and heat treatment," *Sci. Rep.*, vol. 7, no. 1, Dec. 2017, doi: 10.1038/s41598-017-01843-9.
- [12] Z. Niu *et al.*, "Synthesis of Silver Nanowires with Reduced Diameters Using Benzoin-Derived Radicals to Make Transparent Conductors with High Transparency and Low Haze," *Nano Lett.*, vol. 18, no. 8, pp. 5329–5334, Aug. 2018, doi: 10.1021/acs.nanolett.8b02479.

-
- [13] S. Hemmati, M. T. Harris, and D. P. Barkey, "Polyol Silver Nanowire Synthesis and the Outlook for a Green Process," *Journal of Nanomaterials*, vol. 2020, 2020, doi: 10.1155/2020/9341983.
- [14] J. Bao, J. X. Wang, X. F. Zeng, L. L. Zhang, and J. F. Chen, "Large-Scale Synthesis of Uniform Silver Nanowires by High-Gravity Technology for Flexible Transparent Conductive Electrodes," *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 58, no. 45, pp. 20630–20638, Nov. 2019, doi: 10.1021/acs.iecr.9b04539.
- [15] S. Patil, P. R. Kate, J. B. Deshpande, and A. A. Kulkarni, "Quantitative understanding of nucleation and growth kinetics of silver nanowires," *Chemical Engineering Journal*, vol. 414, 2021, doi: 10.1016/j.cej.2021.128711.
- [16] F. Wu, W. Wang, Z. Xu, *et al.*, "Bromide (Br) - Based Synthesis of Ag Nanocubes with High-Yield," *Sci. Rep.*, vol. 5, 2015, Art. no. 10772, doi: 10.1038/srep10772.
- [17] R. D. Abdel-Rahim, A. M. Naguib, O. A. Pharghaly, M. A. Taher, E. S. Yousef, and E. R. shaaban, "Optical properties for flexible and transparent silver nanowires electrodes with different diameters," *Opt. Mater. (Amst)*, vol. 117, Jul. 2021, doi: 10.1016/j.optmat.2021.111123.
- [18] Z. Cheng, L. Liu, S. Xu, M. Lu, and X. Wang, "Temperature dependence of electrical and thermal conduction in single silver nanowire," *Sci. Rep.*, vol. 5, Jun. 2015, doi: 10.1038/srep10718.
- [19] M. Ćwik, D. Buczyńska, K. Sulowska, E. Roźniecka, S. Mackowski, and J. Niedziółka-Jönsson, "Optical properties of submillimeter silver nanowires synthesized using the hydrothermal method," *Materials*, vol. 12, no. 5, Mar. 2019, doi: 10.3390/ma12050721.