TỔNG HỢP CÁC HẠT NANO BẠC VỚI CÁC HÌNH DẠNG VÀ CẤU TRÚC KHÁC NHAU

Đỗ Thị Huế*, Nguyễn Thị Phương Thảo, Trần Khắc Khôi

Trường Đại học Sư phạm – ĐH Thái Nguyên

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày việc tổng hợp các hạt nano bạc với các hình dạng và cấu trúc khác nhau theo phương pháp khử hóa học. Các hạt nano bạc dạng cầu, dạng thanh và các cấu trúc meso với các hình dạng dị hướng khác nhau được tổng hợp theo một quy trình cụ thể. Hình thái và cấu trúc của các hạt nano bạc đã được nghiên cứu bằng kính hiển vi điện tử truyền qua TEM và kính hiển vi điện tử quét SEM. Kết quả cho thấy, các hạt nano bạc hình phỏng cầu, các thanh nano bạc và các hạt nano bạc cấu trúc dị hướng có độ phân tán tốt trong dung dịch, kích thước và cấu trúc của chúng có thể điều khiển được bằng cách thay đổi lượng hạt mầm hay lượng ion Ag⁺. Các thanh nano bạc có nhiều đìi lên tới vài trăm nanomet còn các cấu trúc meso bạc có nhiều điểm "nóng" với cấu trúc phân nhánh cao. Các đặc tính quang của các hạt nano bạc đã tổng hợp được khảo sát bằng phổ hấp thụ UV-VIS. Kết quả cho thấy, các tính chất quang của các hạt nano bạc phụ thuộc rất mạnh vào hình dạng, cấu trúc cũng như kích thước của chúng.

Từ khóa: nano bạc; cấu trúc meso bạc; nano bạc cầu; nano bạc thanh; tán xạ Raman bề mặt

Ngày nhận bài: 16/9/2020; Ngày hoàn thiện: 30/11/2020; Ngày đăng: 30/11/2020

SYNTHESIS OF SILVER NANOPARTICLES WITH DIFFERENT SHAPES AND STRUCTURES

Do Thi Hue*, Nguyen Thi Phuong Thao, Tran Khac Khoi *TNU - University of Education*

ABSTRACT

This paper presented the synthesis of silver nanoparticles with different shapes and structures by chemical reduction method. Silver nano spheres, silver nano rods and silver meso structures with different anisotropic shapes were synthesized according to a specific process. Morphology and structure of silver nano particles were studied by transmission electron microscopy TEM and scanning electron microscope SEM. The results showed that spherical silver nano particles, silver nano rods and anisotropic structure silver nano particles have good dispersion in the solution, the size and structure of them can be controlled by changing the amount of seed or amount of Ag ⁺ ions. Silver nano rods can be up to several hundred nanometers long and silver meso structures can also be formed with multiple hot - spots with a highly branched structure. The optical properties of the silver nano particles synthesized were investigated by UV-VIS absorption spectroscopy. The results showed that the optical properties of silver nano particles strongly depend on their shape, structure as well as size.

Keywolds: Silver nanoparticles; silver mesostructures; silver nanospheres; silver nanorod; surface-enhanced Raman

Received: 16/9/2020; Revised: 30/11/2020; Published: 30/11/2020

^{*} Corresponding author. Email: huedt@tnue.edu.vn

1. Tổng quan

Các hat kim loai có kích thước từ vài nanomet đến vài trăm nanomet (hạt nano kim loại) đã nhận được sự chú ý rất lớn vì các đặc tính độc đáo của chúng khác với kim loai khối. Các tính chất của các hạt nano kim loại phụ thuộc mạnh vào cấu trúc, kích thước hình dạng cũng như kích thước và sự phân tán của chúng. Vì vây, để đa dang hóa các ứng dung, chúng được tổng hợp bằng nhiều phương pháp khác nhau như phương pháp vật lý, sinh học và hóa học [1]. Trong phương pháp vật lý, các hạt nano kim loại có thể được hình thành bằng cách ăn mòn bằng laser [2], và chiếu xạ bởi tia cực tím [3]. Phương pháp hóa học là phương pháp được sử dụng rộng rãi để tổng hợp các hạt nano kim loại và ôn định các hạt keo trong dung dich [4]-[6]. Trong phương pháp này, các ion kim loại trong các tiền chất được khử thành các nguyên tử kim loại. Các nguyên tử này kết hợp lại với nhau theo các cơ chế nhất định để hình thành nên các cấu trúc nano khác nhau. Phương pháp này được sử dụng phổ biến nhất, do tính đơn giản của nó, đồng thời phương pháp này cho phép kiểm soát cấu trúc hạt, hình dạng, kích thước và sư phân bố các hat bằng cách thay đổi nồng độ của chất phản ứng, và tốc độ phản ứng. Trong số các hạt nano kim loại thì các hat nano vàng, bac có bước sóng công hưởng plasmon nằm trong vùng khả kiến nên chúng gây ra được các hiệu ứng màu sắc. Do đó, chúng mang lại nhiều ứng dụng đặc biệt là ứng dụng trong y sinh. Các ứng dụng này bắt nguồn từ hiện tượng điển hình của các hạt nano bạc khi tương tác với ánh sáng, đó là hiện tượng cộng hưởng plasmon bề mặt (SPR) [7]. Đây là hiện tương tập thể các điện tử trên bề mặt hat nano kim loại dao đông đồng pha với cùng tần số với điện trường ngoài. Tần số SPR phu thuộc manh vào kích thước, hình dang các hat nano kim loai, chiết suất của môi trường xung quanh và khoảng cách giữa các hạt nano [7]. Vì vậy, việc kiểm soát hình dang của hat nano kim loai là biên pháp hiệu quả để có được hạt nano với bước sóng công hưởng SPR mong muốn. Các hat nano bạc có khả năng hấp thụ ánh sáng có bước sóng từ 300 nm đến 1200 nm [7]. Chúng ta có thể kiểm soát các đặc tính quang học của các hạt bằng cách lựa chọn các phương pháp khác nhau và kiểm soát các yếu tố tham gia vào quá trình tổng hợp hạt. Cách tiếp cận phổ biến nhất để tổng hợp các hat nano bac là khử hóa học bằng các chất khử hữu cơ và vô cơ. Trong các phương pháp này, tiền chất được sử dụng phổ biến nhất là muối bạc AgNO₃, ion Ag⁺ được khử bằng các chất khử khác nhau và với sư hiện diện của các chất ổn đinh dang keo trong điều kiện thích hợp, chúng ta có thể tổng hợp các cấu trúc nano bạc với các kích thước và hình dạng khác nhau. Căn cứ vào chất khử, có thể chia các phương pháp khử hóa học thành các dạng chính sau: Khử citrate [8], phản ứng tráng gương bac [9], [10], phương pháp nuôi mầm [11]-[13], quá trình polyol [14], khử bằng ánh sáng [15]. Các hạt nano bạc với các hình dạng khác nhau như cầu, thanh, dây, tam giác, và cấu trúc phân nhánh cao đã được tổng hợp [16].

So với nano vàng thì các hạt nano bạc có tính kháng khuẩn cao và khả năng tăng cường đô tán xạ Raman bề mặt rất tốt. Quang phổ Raman tăng cường bề mặt hoặc tán xạ Raman tăng cường bề mặt (SERS) là một kỹ thuật rất nhạy với bề mặt các hạt nano kim loại giúp tăng cường sự tán xạ Raman bởi các phân tử bị hấp phụ trên bề mặt kim loại thô hoặc bởi cấu trúc nano. SERS chủ yếu là do dao động tập thể của các điện tử dẫn thông qua hiệu ứng SPR [17]. Hiệu ứng SERS là một công cụ phân tích hiệu quả, cung cấp thông tin định tính và đinh lượng của các chất màu ở mức vết của các phân tử [18]. Vì độ nhạy cao và tiết kiệm thời gian, SERS được sử dụng trong các trường hợp như an toàn thực phẩm và vê sinh môi trường, hay sản xuất hóa chất và các chất xúc tác [19].

Bề mặt của các cấu trúc nano bạc có ảnh hưởng quan trọng đến các đặc tính quang học

và SERS. Các cấu trúc nano bạc có hình dạng và kích thước khác nhau như hạt nano, thanh nano, dây nano, nanoprisms và ống nano đã được nghiên cứu [20]. Trong bài báo này, các cấu trúc nano bạc khác nhau như dạng cầu, dạng thanh và dạng phân nhánh cao đã được tổng hợp bằng phương pháp khử hóa học với các chất khử khác nhau. Trên cơ sở đó, các đặc tính quang của chúng cũng đã được khảo sát thông qua phổ hấp thụ UV-VIS.

2. Thực nghiệm

2.1. Nguyên liệu hóa chất: Bạc nitrate $(AgNO_3 - 99\%)$, L- Axít ascorbic (L-AA, 99%), Cetyltrimethylammonium bromide (CTAB, 99%), Natri borohydride (NaBH4, 99%), trisodium Citrate (C₆H₅O₇Na₃). Tất cả hóa chất đều được cung cấp bởi Merck, nước khử ion được sử dụng trong tất cả các thí nghiệm.

2.2. Tổng hợp các cấu trúc nano bạc

2.2.1. Các hạt nano bạc dạng cầu

80 ml dung dịch $AgNO_3$ được gia nhiệt tới 60 °C và được khuấy từ cùng với 20 ml dung dịch $C_6H_5O_7Na_3$ đã được gia nhiệt tới 60 °C từ trước. Hỗn hợp đã được khuấy từ gia nhiệt khoảng 20 phút. Sau đó quá trình làm nóng được kết thúc và dung dịch được làm nguội xuống nhiệt độ phòng trong khi tiếp tục khuấy từ.

2.2.2. Các thanh nano bạc

Các thanh nano bạc được tổng hợp theo phương pháp nuôi mầm. Dung dịch hạt mầm được chuẩn bị bằng cách trộn dung dịch AgNO₃ 0,01M với 80 µl dung dịch CTAB 0,01M sao cho thể tích dung dịch thu được là 20 ml. Sau đó, thêm 0,6 mL NaBH₄ 0,01 M khuấy từ 2 phút tại nhiệt độ phòng. Dung dịch mầm được giữ yên khoảng 1h trước khi sử dụng để phát triển. Các thanh nano bạc được tổng hợp bằng cách chuẩn bị 10 mL dung dịch nuôi gồm CTAB 0,01M, 0,25 mL dung dịch AgNO₃ 0,02 M và 0,5 mL dung dịch axít ascorbic (AA) 0,02 M. Sau đó, một số lượng khác nhau của dung dịch mầm được thêm vào. Cuối cùng 0,10 mL dung dịch NaOH 1M được thêm vào trong mỗi bình phản ứng. Màu sắc của dung dịch thay đổi xanh lá, tím hay hồng là tùy theo lượng mầm đưa vào.

2.2.3. Các cấu trúc nano bạc dị hướng

Trộn hỗn hợp dung dịch $AgNO_3$ trong H_2O để được các nồng độ mong muốn. Sau đó, thêm chất khử là axít L-AA vào dung dịch trên, khuấy từ ở nhiệt độ phòng khoảng 30 phút để phản ứng xảy ra hoàn toàn. Dung dịch thu được chứa các cấu trúc nano bạc dị hướng.

2.3. Các kĩ thuật đo

Đặc trưng quang của các dung dịch nano bạc được khảo sát thông qua phổ hấp thụ UV-VIS được đo trên máy UV-2600 của hãng Shimadzu; hình thái và kích thước của hạt nano được quan sát qua ảnh bằng kính hiển vi điện tử truyền qua Model. Jem 1010 hãng JEOL – Nhật Bản bằng cách trải hạt trên lưới đồng phủ cacbon và được gia tốc với hiệu điện thế 80 kV.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Hình thái, kích thước và cấu trúc hạt nano bạc

3.1.1. Nano bạc dạng cầu

Các hạt nano bạc đã được tổng hợp bằng phương pháp hóa, trong đó, $C_6H_5O_7Na_3$ khử trực tiếp các ion Ag^+ trong dung dịch để hình thành nên các nguyên tử Ag. Các nguyên tử bạc được sinh ra ban đầu, sau đó đóng vai trò như trung tâm hạt nhân để các nguyên tử sinh ra sau kết tụ lại hình thành nên các hạt nano bạc dạng phỏng cầu. Trên Hình 1 là ảnh TEM của các hạt nano bạc dạng phỏng cầu. Có thể thấy các hạt phân tán tốt trong dung dịch, tương đối đồng đều về mặt kích thước. Theo phương pháp này, kích thước của các hạt nano bạc hoàn toàn có thể được điều chỉnh bằng cách thay đổi nồng độ Ag^+ hoặc nồng độ chất khử Citrate.



Hình 1. *Ånh TEM của các hạt nano bạc dạng cầu với độ thang đo 100 nm (hình A), thang 20 nm (hình B)* 3.1.2. Nano bạc dạng thanh

Các thanh nano bạc được tổng hợp bằng phương pháp nuôi mầm. Hình 2A là ảnh TEM của các hạt mầm bạc, Hình 2B là ảnh TEM của các thanh nano bạc khi sử dụng 125 μ l dung dịch hạt mầm.





Các hạt mầm bạc khi được đưa vào trong dung dich nuôi với sư có mặt của chất hoạt động bề mặt CTAB, các ion bạc trong dung dịch "nuôi" lớn các hạt mầm theo các hướng ưu tiên khác nhau, hình thành nên cấu trúc dang thanh. Để hình thành được các thanh nano bạc thì vai trò của CTAB là rất quan trọng. Giải thích cụ thể về vai trò định hướng của CTAB cho quá trình tạo thanh bạc cũng tương tư như trong quá trình tổng hợp thanh nano vàng mà chúng tôi đã trình bày trong báo cáo trước đây [21]. Tuy nhiên có thể thấy, các thanh nano bạc tạo ra thường có kích thước lớn hơn nhiều so với các thanh nano vàng. Đây là sư khác biệt lớn trong quá trình nuôi các hạt mầm bạc và các hạt mầm vàng. Điều này là do trong khi phát triển các hat mầm vàng trong dung dịch kích thước của chiều dài thanh bị giới hạn bởi nồng độ ion

http://jst.tnu.edu.vn; Email: jst@tnu.edu.vn

 Ag^+ làm hạn chế sự kết tụ của các ion Au^{3+} trong dung dịch lên hạt mầm. Còn đối với sự hình thành các thanh nano bạc thì không có hiện tượng đó, vì vậy, các thanh bạc có thể đạt được kích thước rất lớn.

3.1.3. Nano bạc cấu trúc đa dị hướng

Trên hình là ảnh TEM của các hạt nano bạc với cấu trúc đa phân nhánh. Hiện tượng phân nhánh của các cấu trúc meso bạc phụ thuộc mạnh vào các yếu tố tham gia phản ứng như nồng độ Ag⁺, nồng độ chất khử AA, tốc độ khuấy từ và thời gian xảy ra phản ứng. Tất cả các yếu tố trên đều ảnh hưởng đến tốc độ xảy ra phản ứng. Đường cong Lamer cho phép lý giải được sự ảnh hưởng của tốc độ phản ứng hay ảnh hưởng của nồng độ các nguyên tử bạc trong dung dịch đến sự hình thành các cấu trúc khác nhau của các hạt nano bạc.



Hình 3. Ảnh TEM của các hạt nano bạc cấu trúc đa dị hướng với các độ phóng đại khác nhau 30×1000 (hình A) và 100×1000 (hình B)



Hình 4. Các phổ hấp thụ UV-VIS của dung dịch nano bạc dạng cầu (hình A), dạng thanh (hình B) và cấu trúc meso bạc (hình C)

3.2. Đặc tính quang của các cấu trúc nano bạc

Trên Hình 4 là các đặc trưng quang học điển hình của các hạt nano bạc với hình dạng, cấu trúc khác nhau. Có thể thấy, dạng của phổ hấp thụ UV-VIS phụ thuộc mạnh vào hình dạng và kích thước hạt. Với các hạt nano bạc dạng cầu có một đỉnh hấp thụ cực đại tại 430 nm, các thanh nano bạc có phổ hấp thụ đặc trưng với hai đỉnh cộng hưởng plasmon tương ứng với các dao động của điện tử theo hai chiều của thanh, còn các hạt nano bạc cấu trúc dị hướng thì phổ hấp thụ kéo dài cả một dải từ 380-900, có một số đỉnh hấp thụ song không quan sát rõ. Hình 4B là phổ hấp thụ của các thanh nano bạc với các thể tích mầm thay đổi từ 20 μ l đến 140 μ l. Có thể nhận thấy khi lượng mầm càng tăng thì các đỉnh cộng hưởng plasmon theo cả chiều dọc và chiều ngang của thanh đều dịch về phía sóng ngắn và cường độ hấp thụ tăng lên. Sự thay đổi này quan sát rõ hơn đối với đỉnh cộng hưởng theo chiều dọc của thanh (ở phía sóng dài). Điều

này được lý giải như sau: lượng mấm trong dung dịch nuôi tăng lên trong khi lượng ion Ag^+ trong dung dịch không đổi thì các thanh nano bạc được hình thành sẽ có các cạnh ngắn hơn (nhỏ hơn) của các thanh nano bạc khi lượng mầm ít.

Điều này dẫn đến sự dịch của đỉnh hấp thụ plasmon về phía sóng ngắn, đồng thời số lượng hạt mầm tăng tức là nồng đô thanh bạc tăng lên, điều đó đồng nghĩa với cường đô của đỉnh hấp thụ tăng khi lượng mầm tăng. Hình 4C là phổ hấp thu của các cấu trúc meso bac đa nhánh với các lượng khác nhau của AgNO₃. Khi nồng độ Ag⁺ càng tăng thì độ hấp thụ của dung dịch càng cao. Vì có cấu trúc dị hướng nên trong phổ tồn tại nhiều các mode dao đông tương ứng với các dao đông của lưỡng cực, tứ cực và các mode dao động bậc cao hơn, tùy thuộc vào sự phân nhánh của hạt nano bạc. Phổ hấp thụ plasmon thu được là sự chồng chập của các mode dao động nên các đỉnh cộng hưởng không quan sát rõ mà chỉ thấy một dải hấp thụ kéo dài từ vùng tử ngoại gần cho đến hồng ngoại gần. Đó là dạng phổ đặc trưng của các cấu trúc nano bạc dị hướng.

4. Kết luận

Các hạt nano bạc với các hình dạng và cấu trúc khác nhau như dạng cầu, dạng thanh và đa dị hướng đã được tổng hợp bằng phương pháp khử hóa học. Các hat nano đơn phân tán và tương đối đồng đều về kích thước. Các thanh nano bac được điều chỉnh kích thước giữa các cạnh bằng cách thay đổi lượng mầm đưa vào trong dung dịch nuôi, kích thước của thanh lớn có chiều dài vài trăm nanomet. Các đỉnh công hưởng plasmon dịch về phía sóng ngắn và cường độ tăng khi lượng mầm tăng lên. Các cấu trúc meso bạc tồn tại nhiều điểm "hot-spot", với cấu trúc phân nhánh cao đã được tổng hợp. Đây là vật liệu có tiềm năng lớn trong việc ứng dụng để phát hiện nồng độ các chất màu hữu cơ dựa trên hiệu ứng tán xạ Raman tăng cường bề măt.

TÀI LIỆU THAM KHÁO/ REFERENCES

- B. Khodashenasa, and H. R. Ghorbani, "Synthesis of silver nanoparticles with different shapes-Review," *Arabian Journal of Chemistry*, vol. 12, no. 8, pp. 1823-183, 2019.
- [2]. S. I. Dolgae, A. V. Simakin, V. V. Voronov, G. A. Shafeev, and F. Bozon-Verduraz, "Nanoparticles produced by laser ablation of solids in liquid environment," *Applied Surface Science*, vol. 186, no. 1, pp. 546-551, 2002.
- [3]. N. M. Dimitrijevic, D. M. Bartels, C. D. Jonah, K. Takahashi, and T. Rajh, "Radiolytically induced formation and optical absorption spectra of colloidal silver nanoparticles in supercritical ethane," *The Journal of Physical Chemistry B*, vol. 105, pp. 954-959, 2001.
- [4]. C. R. Rekha, V. U. Nayar, and K. G. Gopchandran, "Synthesis of Highly Stable Silver Nanorods and their Application as SERS Substrates," *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*, vol. 18, pp. 30024-30028, 2018.
- [5]. S. H. Lee, and B. H. Jun, "Silver Nanoparticles: Synthesis and Application for Nanomedicine," *International Journal of Molecular Sciences*, vol. 20, p. 865, 2019.
- [6]. M. N. T. Anh, D. T. D. Nguyen, N. V. K. Thanh, N. T. P. Phong, D. H. Nguyen, and M. T. Nguyen-Le, "Photochemical Synthesis of Silver Nanodecahedrons under Blue LED Irradiation and Their SERS Activity," *Processes*, vol. 8, p. 292, 2020.
- [7]. A. M. S. Maier, UKPlasmonics: fundamentals and applications. Department of Physics, University of Bath, 2007, ch. 5, pp. 67-87.
- [8]. A. L. Koh, K. Bao, I. Khan, W. E. Smith, G. Kothleitner, P. Nordlander, S. A. Maier, and D. W. McComb, "Electron energy-loss spectroscopy (EELS) of surface plasmons in single silver nanoparticles and dimers: influence of beam damage and mapping of dark modes," ACS Nano, vol. 3, no. 10, pp. 3015-3022, 2009.
- [9]. L. Wang, Y. Sun, J. Wang, X. Zhu, F. Jia, Y. Cao, X. Wang, H. Zhang, and D. Song, "Sensitivity enhancement of SPR biosensor with silver mirror reaction on the Ag/Au film," *Talanta*, vol. 78, no. 1, pp. 265-269, 2009.
- [10]. L. Shen, J. Ji, and J. Shen, "Morphologycontrolled synthesis of silver nanoparticles on the silicon substrate by a facile silver mirror reaction," *Langmuir*, vol. 24, p. 9962, 2008.

http://jst.tnu.edu.vn; Email: jst@tnu.edu.vn

- [11]. Q. Zhang, W. Li, C. Moran, J. Chen, L.Wen, and Y. Xia, "Seed-mediated synthesis of Ag nanocubes with controllable edge lengths in the range of 30-200 nm and comparison of their optical properties," Journal of the *American Chemical Society*, vol. 132, p. 11372, 2010.
- [12]. N. R. Jana, L. Gearheart, and C. J. Murphy, "Seed-Mediated Growth Approach for Shape-Controlled Synthesis of Spheroidal and Rod-like Gold Nanoparticles Using a Surfactant Template," *Advanced Materials*, vol. 13, p. 1389, 2001.
- [13]. B. Pietrobon, M. McEachran, and V. Kitaev, "Synthesis of Size-Controlled Faceted Pentagonal Silver Nanorods with Tunable Plasmonic Properties and Self-Assembly of These Nanorods," ACS Nano, vol. 3, p. 21, 2008.
- [14]. S. E. Skrabalak, B. J. Wiley, M. Kim, E. Formo, and Y. Xia, "On the Polyol Synthesis of Silver Nanostructures: Glycolaldehyde as a Reducing Agent," *Nano Letters*, vol. 8, p. 2077, 2008.
- [15]. J.Zhang, S. Li, J. Wu, G. Schatz, C. Mirkin, and Angew, "Plasmon-mediated synthesis of silver triangular bipyramids," *Angewandte Chemie*, vol. 48, p.7787, 2009.
- [16]. S. Zhou, M. Zhao, T. H. Yang, and Y. Xia, "Decahedral nanocrystals of noble metals:

Synthesis, characterization, and applications," *Materials Today*, vol. 22, pp. 108-131, 2017.

- [17]. S. E. J. Bell, and N. M. S. Sirimuthu, "Quantitative surface-enhanced. Raman spectroscopy," *Chemical Society Reviews*, vol. 37, pp. 1012-1024, 2008.
- [18]. Z. Sumeng, M. Lingwei, L. Jianghao, L. Yuehua, Z. Dongliang, and Z. Zhengjun, "Ag Nanorods-Based Surface-Enhanced Raman Scattering: Synthesis, Quantitative Analysis Strategies, and Applications," *Frontiers in Chemistry*, vol 7, pp.376, 2019.
- [19]. W. Kim, S. H. Lee, Y. L. Ahn, S. H. Lee, J. Ryu, and S. K. Choi, "A label-free cellulose SERS biosensor chip with improvement of nanoparticle-enhanced LSPR effects for early diagnosis of subarachnoid hemorrhageinduced *complications*," *Biosensors and Bioelectronic*, vol. 111, pp. 59-65, 2018.
- [20]. Y. Ke, G. Meng, Z. Huang, and N. Zhou, "Electrosprayed large-area membranes of Agnanocubes embedded in cellulose acetate microspheres as homogeneous SERS substrates," *The Journal of Physical Chemistry C*, vol. 5, pp. 1402-1408, 2017.
- [21]. T. H. Do, V. H. Chu, T. H. L. Nghiem, and H. N. Tran, "Synthesis of gold nanorods for biomedical applications," *TNU Journal of Science and Technology*, vol. 155, no. 10, pp. 23-30, 2016.