

MÀM ĐIỀU KHIỂN ĐỘNG HỌC QUÁ TRÌNH PHÁT TRIỂN CỦA HẠT NANO VÀNG CẦU ĐƯỜNG KÍNH LÊN TỚI 200 NM BẰNG PHƯƠNG PHÁP NUÔI

Đỗ Thị Huế^{1,2,3}, Nguyễn Thị Thu Hiền¹, Chu Việt Hà¹, và Nghiêm Thị Hà Liên^{2,3}

¹Trường Đại học sư phạm – ĐH Thái Nguyên,

²Viện Vật lý, Viện hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam,

³Học viện khoa học và công nghệ, Viện hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày việc chế tạo các hạt nano vàng đơn phân tán, dạng cầu, phân bố kích thước hẹp với đường kính lên tới trên 200nm bằng phương pháp nuôi mầm. Động học của quá trình phát triển của hạt được điều khiển thông qua phản ứng khử của axit formic HCHO trong dung dịch vàng hydroxide (gold plating solutions - GPS) trong sự có mặt của các hạt mầm vàng. Mầm được dùng để “nuôi” là các hạt keo vàng dạng cầu với đường kính khoảng 15nm, nồng độ hạt 5.10^{11} hạt/ml, bề mặt được bảo vệ bởi các ion âm citrate. Các hạt này được tổng hợp bằng cách khử axit chlorauric HAuCl_4 bởi dung dịch trisodium citrate dihydrate khi được gia nhiệt. Sản phẩm tạo ra bằng phương pháp này không có hoạt động bề mặt thuận lợi cho các ứng dụng trong y sinh. Các phép đo phổ hấp thụ trong vùng tử ngoại – nhìn thấy (UV-VIS), kính hiển vi điện tử truyền qua (TEM) cho thấy các đặc trưng của hạt trong từng bước “nuôi”.

Từ khóa: nano vàng, hạt mầm, trisodium citrate dehydrate, gold plating solutions, phương pháp nuôi mầm.

TỔNG QUAN

Trong những thập kỷ gần đây, các hạt nano vàng đang thu hút được nhiều sự quan tâm của các nhà nghiên cứu trong các lĩnh vực khác nhau từ các nghiên cứu cơ bản tới các nghiên cứu ứng dụng. Đặc biệt, các hạt nano vàng khi được gắn kết với các phân tử tương thích sinh học sẽ mang lại nhiều ứng dụng trong y sinh, chẳng hạn như ứng dụng trong đánh dấu và hiện ảnh sinh học [1] [2], chẩn đoán, phát hiện và điều trị bệnh [3], ứng dụng quang nhiệt [4], phân phối thuốc và các phân tử sinh học [6],... Vì những ứng dụng tiềm năng đó mà các hạt nano vàng đã và đang được nghiên cứu tổng hợp bằng nhiều phương pháp khác nhau. Một cách tổng quan, hạt nano vàng có thể được tổng hợp bằng ba nhóm phương pháp chính: nhóm phương pháp hóa học, nhóm phương pháp bức xạ và nhóm phương pháp khử sinh học. Phương pháp bức xạ sử dụng các tia bức xạ [14], [15] để khử AuCl_4^- về Au^0 trong sự có mặt của các chất ổn định. Phương pháp này cho hiệu suất tổng hợp cao nhưng giá thành cao và yêu cầu phải có thiết bị tương ứng. Nhóm phương pháp khử sinh học tổng hợp nano vàng bằng cách sử dụng các polimer để làm chất khử và

chất bảo vệ [16], [17]. Phương pháp này có ưu điểm là sử dụng các chất không độc nhưng sản phẩm tạo ra có kích thước dưới 50nm và phân bố kích thước tương đối rộng. Một phương pháp tương đối phổ biến trong việc tổng hợp các hạt nano vàng là phương pháp khử hóa học. Nguyên tắc chung của phương pháp này là sử dụng một chất khử nào đó để khử Au^{3+} trong muối vàng thành nguyên tử Au^0 , và để tránh sự kết dính của các hạt, chất bảo vệ có thể được sử dụng. Các hạt nano vàng với đường kính từ 10nm đến 150nm có thể được tạo ra bằng cách sử dụng trisodium citrate ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$) để khử muối vàng HAuCl_4 trong một bước duy nhất khi có gia nhiệt [7] [8]. Tuy nhiên, phân bố kích thước trở nên rộng hơn và xuất hiện nhiều hạt với hình dạng khác ngoài các hạt hình cầu khi các hạt có kích thước lớn hơn. Trong những năm gần đây, phương pháp phát triển mầm là một trong những phương pháp mang lại hiệu quả cao trong việc tạo ra các hạt nano vàng với các kích thước và hình dạng mong muốn. Đi tiên phong với phương pháp này, Natan và các cộng sự đã sử dụng trisodium citrate như một chất khử trung gian để tổng hợp các hạt nano vàng cầu đường kính lên tới 100nm[9]. Tuy nhiên, hạn chế của phương pháp này là tạo ra cả các hạt nano vàng dạng thanh bên

* Email: hue.iop@gmail.com

cạnh các hạt nano vàng khiến cho hiệu suất tổng hợp thấp. Các hạt nano vàng với đường kính từ 5nm tới 40nm được Jana tổng hợp khi sử dụng cetyltrimethylammonium bromide (CTAB) làm chất ổn định và sodium-borohydrate (NaBH_4) như một chất khử để khử HAuCl_4 [10]. Với cùng ý tưởng sử dụng CTAB làm chất ổn định, Murphy và Liz-Marzan đã sử dụng phương pháp phát triển mầm để tổng hợp các hạt nano vàng đơn phân tán khi dùng axit ascorbic (AA) làm chất khử [11]. Mặc dù đơn phân tán, nhưng các hạt vàng này được bảo vệ bởi các phân tử bề mặt là CTAB nên hạn chế khả năng ứng dụng của hạt trong y sinh. Vì vậy, việc tìm ra một phương pháp tối ưu được quá trình tổng hợp các hạt nano vàng cầu với các tính năng ưu việt như: phân bố kích thước hẹp, đơn phân tán, dễ dàng hoạt hóa bề mặt và có thể điều khiển được kích thước trong phạm vi rộng... là cần thiết cho các ứng dụng của chúng.

Trong bài báo này, chúng tôi báo cáo một phương pháp tương đối đơn giản tổng hợp hạt nano vàng cầu có kích thước lên tới trên 200nm, đơn phân tán, phân bố kích thước hẹp và không có CTAB. Phương pháp này gồm hai bước: (i) tổng hợp hạt mầm vàng (các hạt nano vàng cầu đường kính khoảng 15nm), (ii) phát triển kích thước hạt mầm trong dung dịch vàng hydroxide (gold plating solutions-GPS) với sự có mặt của chất khử HCHO . Điều quan trọng trong phương pháp này là pH của dung dịch GPS phải phù hợp để đảm bảo cho hạt mầm được phát triển một cách liên tục, đồng nhất, và không có hạt nhân mới xuất hiện bên cạnh các hạt mầm.

THỰC NGHIỆM

Nguyên liệu hóa chất: vàng (III) chloride trihydrate ($\text{HAuCl}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, 99.9%), trisodiumcitrate dihydrate ($(\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 99 %), Kali cacbonat (99 %), and formaldehyde (37 % trong nước) được cung cấp bởi Merck, nước khử ion được sử dụng trong tất cả các thí nghiệm.

Tổng hợp hạt nano vàng (GNPs)

Giai đoạn tạo mầm:

Các hạt mầm là các hạt nano vàng được chuẩn bị như trong báo cáo của chúng tôi trước đây [12], trong công việc này chúng tôi chuẩn bị các hạt mầm như sau: Thí nghiệm

được thực hiện trong một bình cầu ba cổ được ghép với hệ thống làm lạnh là một sinh hàn hồi lưu. Toàn bộ hệ thống này được đặt trên một máy khuấy từ gia nhiệt. Đun 30ml H_2O trong bình cầu ba cổ khuấy từ gia nhiệt đến sôi. Khi nước trong bình sôi, đưa thêm 392 μl muối vàng HAuCl_4 23mM, sau đó 902 μl $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ 1% được đưa vào bình ba cổ. Dung dịch trong bình luôn được khuấy từ với tốc độ 800-1000v/p và gia nhiệt ở 100°C . Dung dịch sẽ đổi màu dần tương ứng với sự thay đổi kích thước hạt theo thời gian phản ứng khác nhau. Màu dung dịch dần dần chuyển từ màu vàng nhạt sang trong suốt rồi xám, đến màu tía đậm cho tới màu đỏ đậm. Màu đỏ đậm là dấu hiệu của phản ứng kết thúc. Bình cầu được rút ra khỏi hệ thống thí nghiệm, và được đặt trên một máy khuấy từ không gia nhiệt khác, vẫn duy trì tốc độ khuấy khoảng 800 vòng/phút trong khoảng 5-10 phút. Sau đó ngưng khuấy từ và để dung dịch trong bình cầu giảm xuống nhiệt độ phòng. Dung dịch vàng được bảo quản trong tối và nhiệt độ thấp khoảng 4°C .

Chuẩn bị dung dịch “nuôi” – dung dịch vàng hydroxyde (GPS)

Dung dịch GPS phải được chuẩn bị ít nhất 3 ngày trước khi sử dụng để “nuôi” mầm. pH của dung dịch GPS được điều chỉnh trong khoảng từ 4 đến 11 (giá trị được ghi nhận sau 3 ngày chế tạo) bằng cách thay đổi lượng K_2CO_3 trong 100ml H_2O . Dung dịch này được khuấy từ khoảng 10 phút ở nhiệt độ phòng, sau đó 1,5ml HAuCl_4 23mM được đưa thêm vào. Ban đầu dung dịch có màu vàng sáng sau đó chuyển thành không màu. Khuấy từ được duy trì trong khoảng 2h, sau đó dung dịch được bảo quản trong điều kiện lạnh (4°C) khoảng 3 ngày trước khi sử dụng.

Giai đoạn phát triển hạt mầm

Dung dịch GPS với pH trong khoảng từ 9.0 đến 9.5 đã được chọn để làm dung dịch nuôi mầm. Kích thước của hạt mầm được tăng lên theo từng bước nuôi ở nhiệt độ phòng với điều kiện là sản phẩm của bước nuôi trước sẽ được sử dụng để làm mầm cho bước nuôi tiếp sau. Các bước nuôi chỉ khác nhau dung dịch mầm, lượng GPS và HCHO trong mỗi bình phản ứng không đổi lần lượt là: 6ml và 5 μl . Trong bước nuôi đầu tiên, 4ml dung dịch mầm đã chuẩn bị được đưa vào trong bình

phản ứng chứa 6ml dung dịch GPS, hỗn hợp được khuấy từ khoảng 5 phút, sau đó 5 μ l HCHO được đưa vào để phản ứng khử xảy ra. Phản ứng được duy trì trong khoảng 30 phút thì dừng lại. Bước 2: Lấy 8ml dung dịch thu được từ bước 1 để làm mẫu. Bước 3: lấy 8ml dung dịch thu được từ bước 2 để làm mẫu; bước 4: lấy 12ml dung dịch thu được từ bước 3 làm mẫu; bước 5: lấy 16ml dung dịch thu được từ bước 4 làm mẫu; bước 6: lấy 17ml dung dịch thu được từ bước 5 làm mẫu; và quy trình được lặp lại cho tới bước 20 với lượng mẫu là 17ml.

Các phép đo thực nghiệm

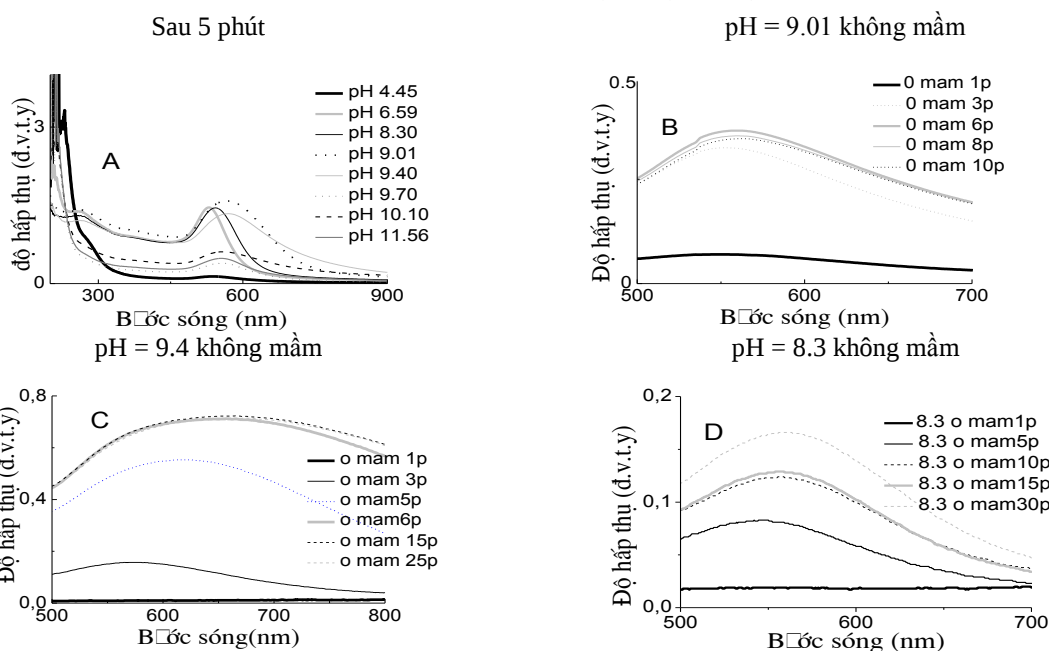
Đặc trưng quang của các dung dịch GNPs được khảo sát thông qua phổ hấp thụ UV-VIS được đo trên máy UV-2600 của hãng Shimadzu; hình thái và kích thước của hạt nano được quan sát qua ảnh bằng kính hiển vi điện tử truyền qua Model. Jem 1010 hãng JEOL – Nhật

Bản bằng cách trải hạt trên lưới đồng phủ cacbon và được gia tốc với thế 80 kV.

KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

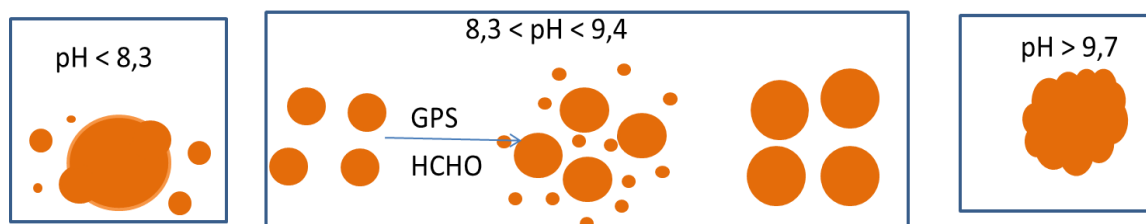
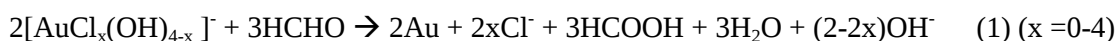
Khảo sát theo thời gian tốc độ phản ứng khử của HCHO với các dung dịch GPS pH khác nhau khi có mẫu và ko mẫu

Để tìm được dung dịch GPS phù hợp cho quá trình phát triển của mẫu, chúng tôi khảo sát tốc độ của phản ứng khử của HCHO và dung dịch GPS. Các dung dịch GPS với pH khác nhau được chuẩn bị bằng cách thay đổi lượng K_2CO_3 : 300 μ l dung dịch $HAuCl_4$ 23mM được đưa vào trong 20ml H_2O khuấy từ 10p, sau đó một lượng K_2CO_3 từ 1-11mg với bước nhảy 1mg được đưa vào trong các bình phản ứng. Khuấy từ dung dịch trong 2h sau đó bảo quản trong tủ lạnh sau 3 ngày và kiểm tra pH. pH của các dung dịch được ghi nhận có giá trị lần lượt là: 4.45; 6.59; 6.82; 8.30; 9.01; 9.40; 9.70; 9.80; 10.10; 11.56.



Hình 1: Phổ hấp thụ UV-VIS của các dung dịch GPS pH khác nhau theo thời gian được khử bởi HCHO. Hình A: Phổ hấp thụ của các dung dịch GPS pH khác nhau 5 phút sau khi phản ứng khử xảy ra (có mẫu), hình B: Phổ hấp thụ của dung dịch GPS pH = 9.01 theo thời gian phản ứng khử; hình C: phổ hấp thụ của dung dịch GPS pH = 9.40 theo thời gian phản ứng khử; hình D: phổ hấp thụ của dung dịch GPS pH = 8.3 theo thời gian phản ứng khử (không mẫu)

Trên hình 1A là phổ hấp thụ của các dung dịch GPS pH khác nhau 5 phút sau khi phản ứng khử xảy ra với sự có mặt của hạt mẫu. Hình này cho thấy độ hấp thụ của các dung dịch có pH trong khoảng 8.3 đến 9.4 ở phía tử ngoại thấp hơn nhiều so với các dung dịch khác. Theo [13], điều này cho thấy nồng độ của các phức ion vàng trong các dung dịch đó trong giai đoạn đầu của phản ứng là thấp. Kết quả này cũng phù hợp tốt với công bố của Mallory và Haidu 1990 khi cho rằng phản ứng khử của HCHO phụ thuộc pH dung dịch GPS



Hình 2: Sơ đồ minh họa sự phát triển của hạt mầm phụ thuộc pH dung dịch GPS

Khi pH dung dịch tăng lên thì tốc độ tiêu thụ các phức ion vàng càng nhanh (ngay trong giai đoạn đầu của phản ứng nồng độ các phức ion vàng rất thấp nên hấp thụ của dung dịch ở phía 226 và 311nm gần như không quan sát thấy), sự khử càng được tăng cường dẫn đến nồng độ các monomer trong giai đoạn đầu phản ứng tăng nhanh. Khi đó theo cơ chế Ostwald ripening, các hạt trong dung dịch có xu hướng biến đổi sao cho tổng diện tích bề mặt của chúng là nhỏ nhất. Vì vậy các hạt lớn bền vững hơn về mặt năng lượng so với các hạt nhỏ, các hạt nhỏ sẽ co cụm lại và thậm chí biến mất trong dung dịch. Khi nồng độ monomer trong dung dịch đạt tới trạng thái quá bão hòa thì nó sẽ ngưng tụ trên bề mặt các hạt lớn một cách liên tục và đồng nhất hình thành nên các hạt đồng đều về kích thước và hình dạng.

Khi pH của dung dịch GPS trên 9.7 ($[\text{OH}^-] > 5 \cdot 10^{-5} \text{M}$), trong dung dịch xảy ra phản ứng Cannizzaro của HCHO với OH^- .



Vì vậy khi pH cao đến mức nồng độ OH^- trong dung dịch quá lớn thì HCHO đồng thời tham gia phản ứng (1) và (2) nên làm cho phản ứng khử xảy ra chậm hơn dẫn đến sự tiêu thụ của các phức ion vàng giảm. Kết quả là giảm tốc độ hình thành các monomer trong dung dịch. Đồng thời, trong dung dịch có ít Au-Cl hơn Au-OH nên làm hạn chế chuyển động của các nguyên tử Au trên bề mặt hạt, gây nên sự ức chế cơ chế intraparticle Ostwald ripening dẫn đến sự hình thành lớp vỏ không trơn nhẵn.

Hình 1B, C, D là các phổ hấp thụ của các dung dịch với pH khác nhau được khảo sát theo thời gian phản ứng. Kết quả cho thấy với các dung dịch pH = 9.01 và 9.4 phản ứng

gần như kết thúc sau 5 phút, còn với dung dịch pH = 8.3 thì phản ứng vẫn tiếp tục sau 30 phút. Vì vậy, để thuận lợi cho việc kiểm soát kích thước hạt và tạo ra các hạt nano vàng đồng nhất về kích thước và hình dạng, chúng tôi chọn pH dung dịch GPS trong khoảng 9-9.4 để làm dung dịch nuôi.

Sự phát triển kích thước hạt lên tới 200nm

Hình 3 cho thấy ảnh TEM và phổ hấp thụ UV-VIS của dung dịch hạt mầm. Một đỉnh cộng hưởng mạnh ở bước sóng 517nm là do dao động tập thể của các điện tử trên bề mặt hạt dưới tác dụng của ánh sáng kích thích. Đỉnh hấp thụ này là đặc trưng cho hấp thụ cộng hưởng plasmon bề mặt (surface plasmon resonance - SPR) của hạt vàng cầu đường kính khoảng 15nm

Những hạt nano vàng này sẽ được sử dụng làm mầm cho bước nuôi đầu tiên để phát triển thành các hạt có kích thước lớn hơn như đã đề cập trong phần thực nghiệm.

Hình 4a là phổ hấp thụ plasmon của dung dịch mầm vàng và các dung dịch thu được sau mỗi bước nuôi. Có thể nhìn thấy rằng sau mỗi bước nuôi đỉnh hấp thụ plasmon dịch đỏ và độ hấp thụ và bước sóng cực đại tương ứng phụ thuộc nhau theo quy luật hàm Gauss (hình 4b). Điều này là những bằng chứng cho thấy sự phát triển của các hạt. Đồng thời, kích thước và nồng độ của các hạt có thể được ước

tính theo công thức (*). $\frac{d_2}{d_1} = \sqrt[3]{\frac{V_{GPS}}{V_{seed}} \cdot n + 1}$

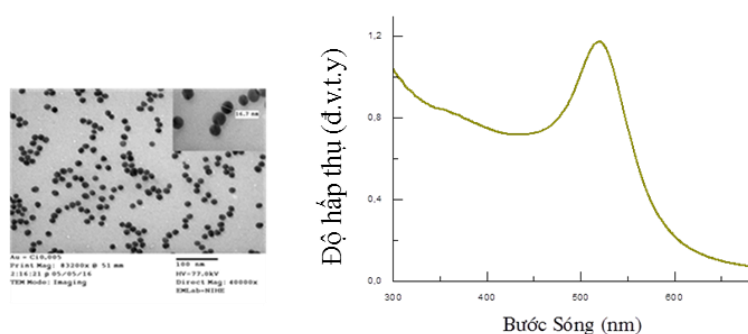
(*). Trong đó, d_1 , d_2 lần lượt là đường kính của hạt mầm và của hạt nano vàng sau một bước nuôi; V_{GPS} , V_{seed} lần lượt là thể tích của dung dịch GPS và của dung dịch mầm được sử dụng trong một bước nuôi, n là tỉ số nồng độ của Au^{3+} trong dung dịch GPS và trong dung dịch mầm. Điều này cho thấy rằng có

thể điều khiển được kích thước và nồng độ hạt bằng cách thay đổi thể tích của dung dịch GPS và dung dịch mầm.

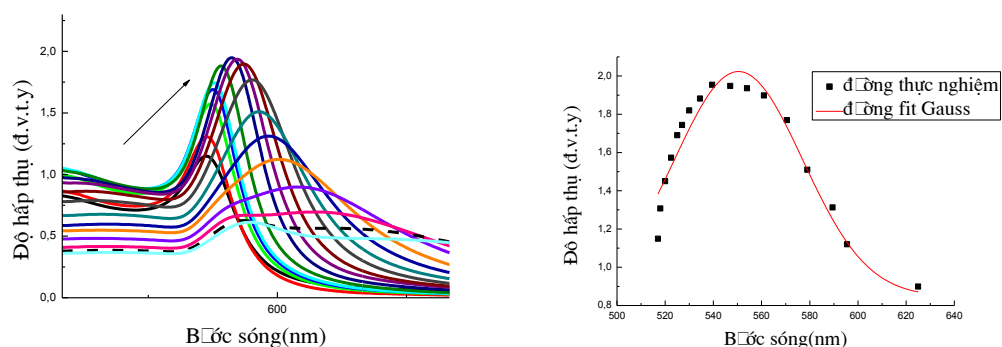
Hình 5 cho thấy đặc trưng về hình thái, kích thước của hạt nano vàng sau các bước nuôi. Các hạt nano vàng đơn phân tán, tương đối đồng đều về kích thước và có dạng tựa cầu với các kích thước tăng dần theo từng bước nuôi từ kích thước ban đầu của hạt mầm là

$15\text{nm} \pm 2\text{nm}$ đến $200\text{nm} \pm 10\text{nm}$ ở bước nuôi cuối cùng.

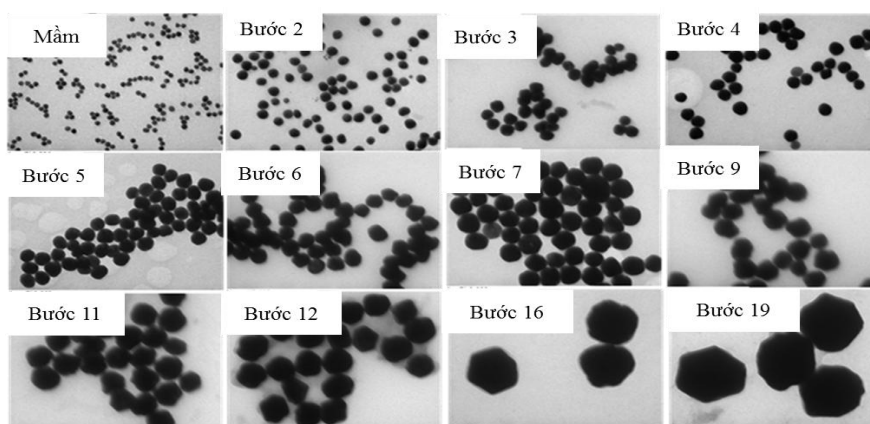
Tuy nhiên đây chưa phải là giới hạn kích thước của hạt nano vàng được tạo ra từ phương pháp này, nhưng vì các kích thước lớn hơn bị hạn chế về mặt ứng dụng nên chúng tôi không đề cập ở đây. Các kích thước này phù hợp khá tốt với các kích thước được tính theo công thức (*).



Hình 3: Ảnh TEM và phổ hấp thụ UV-VIS của hạt mầm vàng



Hình 4: Phổ hấp thụ UV-VIS của dung dịch mầm vàng và các dung dịch keo vàng sau các bước phát triển (a) và sự phụ thuộc của độ hấp thụ của các dung dịch ở các bước nuôi vào đỉnh hấp thụ tương ứng của chúng (b)



Hình 5: Ảnh TEM của các hạt nano mầm vàng và sản phẩm thu được ở các bước nuôi khác nhau với độ phóng đại 40000x

KẾT LUẬN

Chúng tôi đã báo cáo một phương pháp mới để tổng hợp các hạt nano vàng cầu với kích thước từ 10nm đến 200nm và nồng độ thay đổi từ khoảng $5 \cdot 10^{12}$ đến $5 \cdot 10^8$ (hạt/ml). Ưu điểm của phương pháp này so với các phương pháp nuôi mầm khác là với cơ chế nuôi tương đối đơn giản (sử dụng HCHO khử dung dịch GPS để tạo nguyên tử vàng làm vật liệu để phát triển kích thước hạt), phương pháp này đã tổng hợp được các hạt nano vàng đơn phân tán, đồng đều về kích thước và hình dạng, kích thước tổng hợp có thể lên tới vài trăm nano mét. Và một ưu điểm nữa là các hạt được tạo ra trong điều kiện không cần gia nhiệt nên yếu tố nhiệt độ không ảnh hưởng đến quá trình tổng hợp; đồng thời các hạt được phát triển từ hạt vàng citrate nên thuận lợi cho các ứng dụng trong y sinh.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu khoa học này được thực hiện nhờ sự hỗ trợ của đề tài cấp Đại học Thái Nguyên, mã số ĐH2016-TN04-03.

Các tác giả xin chân thành cảm ơn Phòng thí nghiệm trọng điểm Quang tử thuộc Viện Vật lý, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam đã cung cấp các trang thiết bị cho các phép đo của nghiên cứu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. L.Tong, Q.We, A.We, & J. X. Cheng, 2009, "Photochemistry and photobiology", 85(1), pp 21-32.
2. Sisco, Patrick Neal, 2010, Submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Chemistry in the Graduate College of the University of Illinois at Urbana Champaign, 204 pages, 3455864
3. S. S. Agasti, S. Rana, M. H. Park, C. K. Kim, C. C. You, & V. M. Rotello, 2010, "Advanced drug delivery reviews", 62(3), pp.316-328.
4. H. H. Richardson, M. T. Carlson, P. J. Tandler, P. Hernandez, & A. O. Govorov, 2009, "Nano letters", 9(3), pp.1139-1146.
5. X. Huang, P. K. Jain, I. K. El-Sayed, & M. A. El-Sayed, 2008, *Lasers in medical science*, 23(3), pp.217-228.
6. S. Rana, A. Bajaj, R. Mout, & V. M. Rotello, 2012, "Advanced drug delivery reviews", 64(2), 2012, pp. 200-216
7. Turkevich, J., Stevenson, P. C., Hillier, J. Discuss, 1951, Faraday Soc, 55.
8. Frens, G. Nature, Phys. Sci. 1973, 241, pp 20-22.
9. Brown, K. R.; Lyon, L. A.; Fox, A. P.; Reiss, B. D.; Natan, M. J, 1999, "Chem. Mater", 12, pp 314-323.
10. Jana, N. R.; Gearheart, L.; Murphy, C. J. 2001, "Langmuir" 17, 6782
11. Rodriguez-Fernandez, J.; Perez-Juste, J.; Garcia de Abajo, F. J.; Liz-Marzan, L. M. 2006, *Langmuir* 22, pp 7007-7010.
12. Nghiem T H L et al, 2008 Proc, Workshop in Optics, Photonics Spectroscopy & Applications (Nha Trang) vol 1 (Hanoi: Science and Technology VAST) pp 403
13. Liang et al, 2011, *J Nanopart Res* 13, pp 3301-3311.
14. Choofong S., Suwanmala P., Pasanphan W. 2010, "International conference on composite material", 316, pp 2134-2140.
15. Nguyen Quoc Hien, Dang Van Phu, Nguyen Ngoc Duy, Le Anh Quoc, 2012, "Carbohydrate Polymers", 89, pp 537- 541.
16. Huang H., Yang X. 2004, "Carbohydrate Research", 339, pp 2627 - 2631
17. Banoe M., Mokhtari N., Sepahi A. A., Fesharaki P. J., Monsef-Esfahani H. R., Ehsanfar Z., Khoshayand M. R. and Shahverdi A. R, 2010, "Iranian Journal of Materials Science & Engineering", 7 (1), pp 48-54.

ABSTRACT

**KINETICALLY CONTROLLED SEEDED GROWTH SYNTHESIS OF
UNIFORM GOLD NANOPARTICLES WITH DIAMETERS OF 15-200 NM****Do Thi Hue^{1,2,3*}, Nguyen Thi Thu Hien¹, Chu Viet Ha¹, Nghiem Thi Ha Lien^{2,3}**¹University of Education - TNU²Institute of Physics, Vietnam Academy of Science and Technology³Graduate University of Science and Technology, Vietnam Academy of Science and Technology

This paper presents a new seeded growth method to synthesize gold nanoparticles. Monodisperse gold nanoparticles with a narrow size distribution, a uniform quasi-spherical shape and controlled size from 15nm up to 200 nm were prepared by a kinetic process controlling seeded growth in the gold plating solutions (GPS) and using formaldehyde (HCHO) as a reducing reagent. Gold seeds are gold colloids (~15 nm, $\sim 5 \cdot 10^{11}$ NPs/mL) with negatively charged citrate ions synthesized by the reduction of tetrachloroauric acid with trisodium citrate dihydrate in Milli-Q water. In this process, the gold nanoparticles don't have surfactant that advantages in biological application. The optical properties of the gold NPs have been tested by means of UV-Vis spectroscopy and morphology of them have been examined by transmission electron microscopy. Mechanism of seeded development is also clearly explained by examining over time the seeded growth in the different pH gold plating solutions (GPS) and in one step of the growth.

Keywords: *gold nanoparticle, seeds, trisodium citrate dehydrate, gold plating solutions, seeded growth method, kinetics*

Ngày nhận bài: 20/02/2017; Ngày phản biện: 13/3/2017; Ngày duyệt đăng: 31/5/2017

* Email: hue.iop@gmail.com

