

HIỆU ỨNG ĐIỆN LY PLASMA TRONG QUÁ TRÌNH ĐIỀU CHẾ DUNG DỊCH NANO BẠC BẰNG DÒNG MỘT CHIỀU CAO ÁP

Nguyễn Đức Hùng^{1*}, Nguyễn Minh Thùy¹, Nguyễn Thanh Hải¹, Phan Thị Trang², Nguyễn Nhị Trữ³

¹*Viện Hóa học - Vật liệu, Viện Khoa học và Công nghệ Quân sự*

²*Khoa Hóa học, Trường Đại học Quy Nhơn, 170 An Dương Vương, Quy Nhơn, Bình Định*

³*Viện Kỹ thuật Nhiệt đới và Bảo vệ Môi trường, 57A Trương Quốc Dung, Phú Nhuận, TP HCM*

Đến Tòa soạn 26-8-2013

Abstract

Implementation of the electrochemical reaction of silver electrode in double distilled water by DC high-voltage will occur the metal dissolution process on the anode and hydrogen on the cathode comply with Faraday's law. Also on the electrodes appear luminescent effects due to the formation of plasma on cathode and on anode. The Non-Faraday process of water electrolysis by plasma will generate the large amounts of hydrogen on electrodes contribute to the reduction of silver ions to formation of nanoparticle in the solution.

Keywords: Electrolysis plasma, Silver nanoparticle, Nano solution, DC high voltage, Hydrogen Formation.

1. MỞ ĐẦU

Quá trình tạo nano bạc từ phản ứng hòa tan anốt bằng dòng một chiều cao áp được xác định do phản ứng khử giữa ion bạc tạo ra từ anốt với khí hiđro thoát ra từ catốt [1-3]. Song với điện áp cao ngoài quá trình hòa tan anốt kim loại và tạo hiđrô từ phản ứng điện hóa điện ly nước tính theo Faraday còn có hiệu ứng “không Faraday” do quá trình điện ly plasma trên các điện cực [4-6]. Hiện tượng plasma được hình thành trên bề mặt các điện cực kim loại do dòng điện tử được chuyển động trong vùng điện áp cao tạo ra điện trường và từ trường rất mạnh [7-8] làm hình thành lớp mỏng khí và hơi trên ranh giới kim loại và dung dịch điện ly (hình 1).

Điều kiện tạo plasma trên các điện cực kim loại như Pt, W, Ti, Ni, Ag, Au,... [7, 9] thường được các nghiên cứu [10, 11] xác định là: điện thế > 140 V, nhiệt độ môi trường 70 °C, mật độ dòng và dung dịch điện ly được sử dụng là K₂CO₃ 0,1 M.

Quá trình tạo plasma trên điện cực có tác động làm phân hủy dung dịch điện ly nước tạo thành H₂, O₂ và H₂O₂ [9] với tốc độ lớn và hiệu suất rất cao thậm chí hơn đến 80 lần so với điện phân thông thường [10]. Điều đó được định hướng cho quá trình sản xuất khí H₂ cho pin nhiên liệu [5, 12]. Nhằm nhận rõ sự tham gia của hiđrô được tạo ra từ phân ly nước cất tinh khiết do hiệu ứng điện ly plasma trong quá trình chế tạo dung dịch nano bạc được điều chế bằng dòng một chiều cao áp là mục đích của bài báo này.

2. THỰC NGHIỆM

Thiết bị để điều chế dung dịch nano bạc bằng phương pháp hòa tan anốt là nguồn 1 chiều điều khiển vô cấp từ 0 đến 25 kV với dòng từ 0 đến 250 mA và bình thủy tinh chịu nhiệt được chế tạo hai lớp, bên ngoài chứa nước làm mát được bơm tuần hòa từ máy ổn nhiệt còn bên trong là nước cất 2 lần [1, 13]. Các phản ứng điện cực cao áp tạo ra quá trình thoát khí và phát sáng đã được quan sát và ghi hình bằng kỹ thuật quay video. Lượng khí sinh ra được tính từ quá trình phân ly nước theo định luật Faraday và đo thể tích khí. Hiệu suất phản ứng được tính theo lượng điện tiêu thụ đo được so với lượng điện được sử dụng để điện phân nước. Các sản phẩm nano bạc được chứng minh bằng ảnh TEM [14], phân bố cỡ hạt [1] và phổ UV-Vis [15].

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

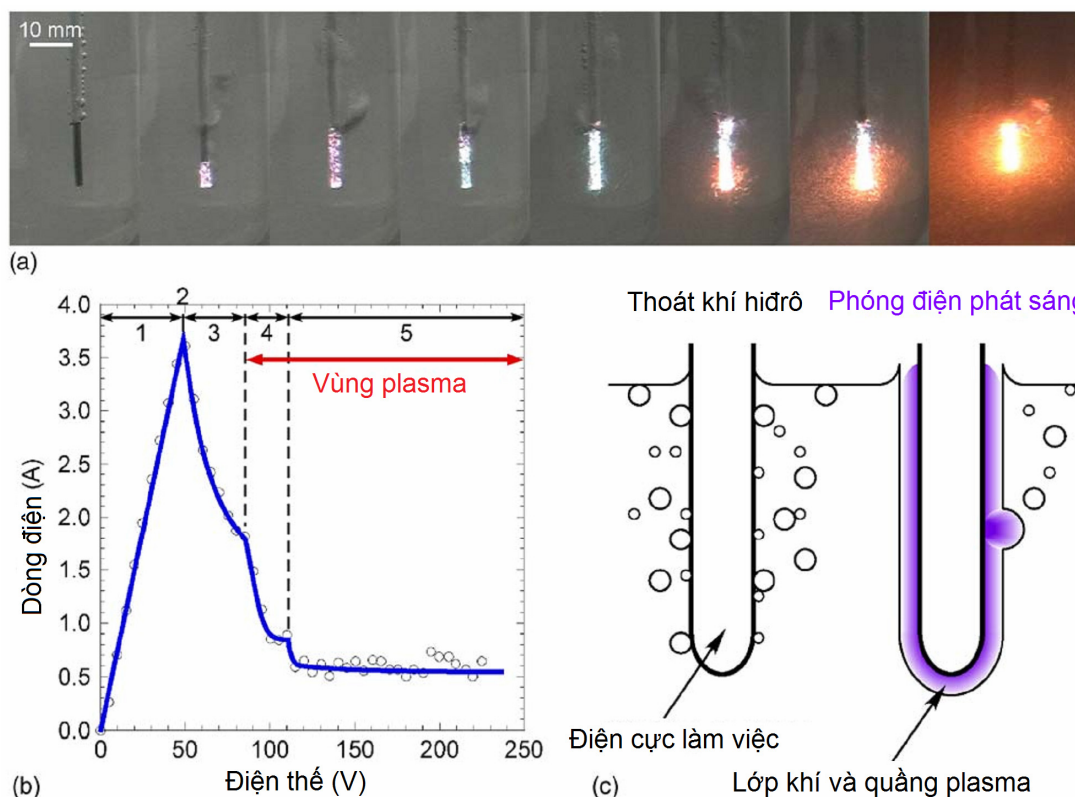
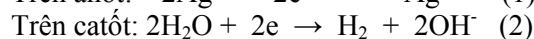
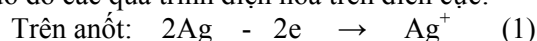
3.1. Plasma trên các điện cực và tạo khí hiđrô

Hình 2 cho thấy hiện tượng phát sáng xanh trên anốt (hình 2a) và phát sáng vàng cam trên catốt (hình 2b) khi áp dòng một chiều (DC) trên 6 kV lên hệ các điện cực bạc trong nước cất 2 lần.

Cùng với hiện tượng phát sáng trên các điện cực, khí cũng được thoát ra với tốc độ lớn, ban đầu dạng bọt nhỏ phân tán vào dung dịch rồi sau đó thành bóng khí lớn hơn nổi lên trên từ catốt chuyển về anốt

(hình 2b), còn trên anốt bột khí lớn tạo thành và thoát ra khỏi bề mặt dung dịch ngay từ điện cực anốt (hình 2a). Màu phát sáng khác nhau giữa plasma anốt và catốt chứng tỏ bản chất khác nhau của các

quá trình trên điện cực anốt và catốt. Sự khác nhau đó do các quá trình điện hóa trên điện cực:



Hình 1: (a) Ảnh plasma trên catốt Ni 1,5 mm, (b) Quan hệ thế-dòng trong quá trình điện ly plasma, (c) Mô hình điện ly plasma: tạo thành lớp hơi/khí mỏng trên ranh giới kim loại/dung dịch

Ngoài ra theo [5, 12, 16] sự khác nhau của quá trình phân ly nước bằng plasma trên anốt và catốt là:

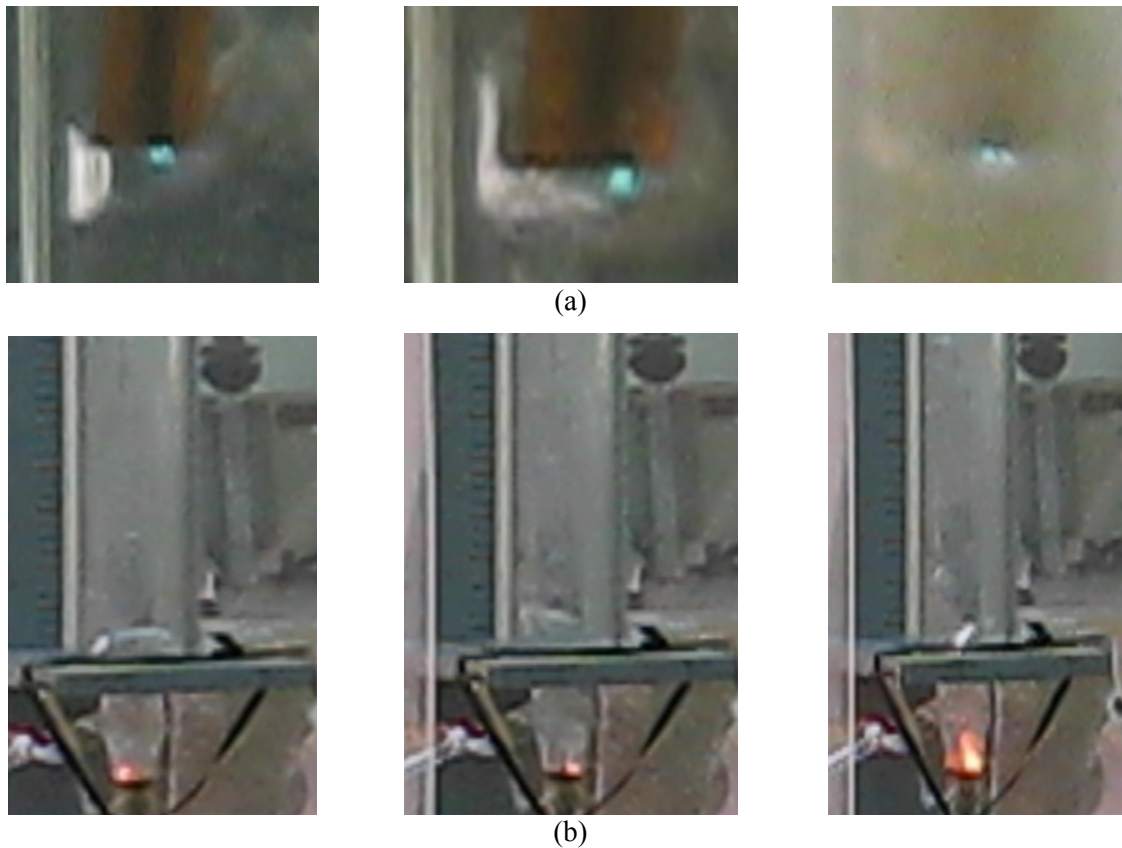


Như vậy về chất trên anốt khác với catốt có ion Ag^+ và H_2O_2 còn trên catốt có OH^- . Về lượng trên catốt tổng lượng khí thoát ra nhiều hơn trên anốt, đặc biệt khí hiđrô. Điều đó có thể là nguyên nhân quyết

định đến sự khác nhau về màu của plasma trên 2 điện cực: trên điện cực anốt có màu xanh lam (hình 2a) và trên điện cực catốt có màu vàng cam (hình 2b). Như đã nhận thấy từ các hình 2 và các phản ứng, sự xuất hiện quá trình điện ly nước plasma trên anốt và catốt sẽ tạo ra lượng khí từ các phản ứng plasma (3 và 4) lớn hơn lượng khí do phản ứng điện ly nước bằng quá trình điện hóa (2). Bảng 1 biểu diễn sự phụ thuộc của tổng lượng khí thu được từ quá trình phản ứng tạo nano bạc điện hóa điện áp so với lượng khí sinh ra tính theo định luật Faraday.

Bảng 1: Tổng lượng khí thoát ra từ các điện cực anốt và catốt đo được và tính từ định luật Faraday với các điện cực có đường kính, thời gian và mật độ dòng khác nhau.

Điều kiện	Ø, mm				t, phút				$i, \text{mA/cm}^2 \times 10^{-2}$		
	3	4	5	7	15	20	25	50	8,205	8,488	11,318
V_{XD}, ml	63,0	80,0	93,0	125,0	93,0	75,0	110,0	80,0	75,00	105,0	125,0
$V_{\text{Far-}}, \text{ml}$	15,74	23,43	25,0	33,73	25,0	22,9	26,15	23,58	18,17	18,79	39,15
$\Delta V, \text{ml}$	47,26	56,57	68,0	91,27	68,0	53,0	83,85	56,42	56,23	86,21	85,85
$V_{\text{XD}}/V_{\text{Far-}}$	4,0	3,41	3,72	3,0	3,72	3,27	4,2	3,39	4,13	5,89	3,20



Hình 2: (a) Plasma anot và (b) plasma catot của quá trình tạo nano bạc bằng dòng DC cao áp

Kết quả từ bảng 1 cho thấy, thể tích khí từ thực tế phản ứng đo được đều lớn hơn thể tích tính theo định luật Faraday từ 3,0 đến 5,89 lần tùy thuộc vào các điều kiện khác nhau của: đường kính điện cực, thời gian và mật độ dòng. Điều đó chứng tỏ rằng tại điện áp cao quá trình thoát khí trên các điện cực tính theo định luật Faraday chỉ chiếm một phần nhỏ còn phần lớn hơn được thực hiện theo cơ chế khác ngoài cơ chế điện hóa đó là quá trình điện phân plasma. Theo Mizuno [5] phản ứng điện ly nước plasma có thể tạo được lượng khí gấp đến 80 lần so với quá trình điện ly nước bằng phản ứng điện hóa. Ở đây lượng khí do plasma không lớn như tài liệu là do xảy ra quá trình điện hóa đồng thời theo (1) và (2) cũng như môi trường điện ly là nước cất 2 lần có độ dẫn điện rất nhỏ. Hơn nữa lượng khí hiđrô mới sinh dễ bị mất đi do tham gia vào các phản ứng oxi hóa - khử với các chất vừa tạo ra trong lòng dung dịch như Ag^+ hoặc H_2O_2 .

3.2. Tạo nano bạc trong dung dịch

Hình 3 trình bày quá trình biến đổi màu của nước cất 2 lần sau thời gian điện phân bằng dòng DC cao áp cũng như thời điểm xuất hiện hiện tượng tạo tia lửa ở điện cực anot và catot tại điện áp cao. Từ hình 3 ta thấy, khi phản ứng với điện áp 7,22 kV, mật độ dòng 4,26 mA/mm² tại khoảng cách 2 điện

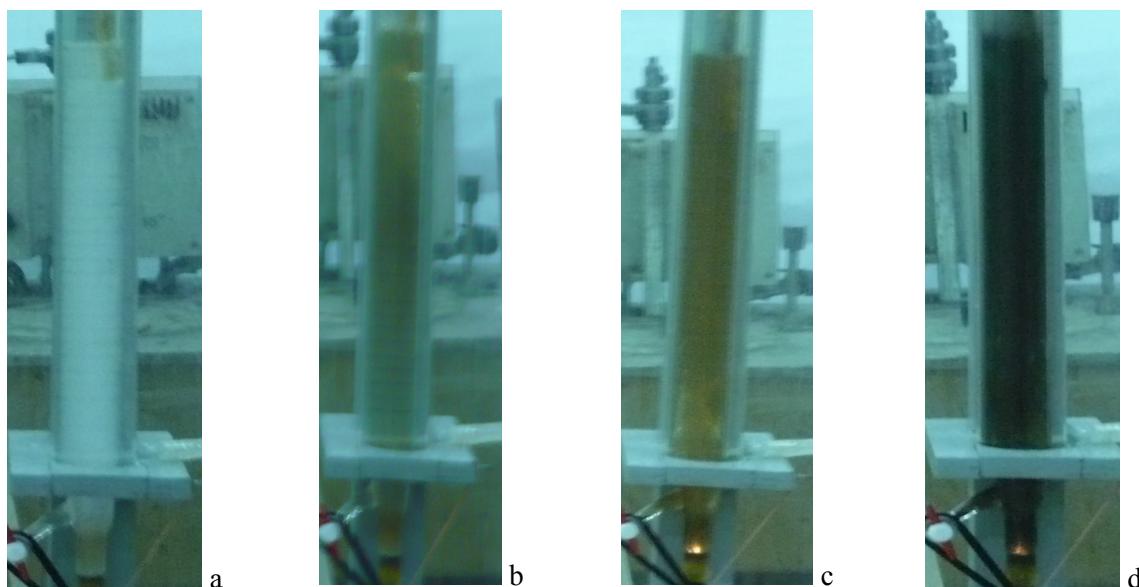
cực 350 mm bột khí bắt đầu thoát ra mạnh trên catot làm cho toàn bộ bình phản ứng biến thành màu trắng của bột khí hiđrô nhỏ phân tán vào dung dịch. Đồng thời trên bề mặt điện cực anot cũng quan sát thấy sự xuất hiện tia sáng màu xanh (hình 3a) và sáng rõ dần (hình 3b). Sau thời gian phản ứng khoảng 10 phút nước cất bắt đầu chuyển thành màu vàng từ vùng gần anot và đậm dần ở khoảng giữa thiết bị phản ứng. Đến khoảng 20 phút màu vàng đã chiếm toàn bộ thể tích thiết bị phản ứng và vùng trên đã trở nên đậm đen. Đồng thời hiện tượng phát sáng trên bề mặt vùng catot và bột khí thoát rất mạnh thành dạng bong bóng lớn cũng xuất hiện rõ sau thời gian hơn 20 phút (hình 3c). Từ thời gian 30 phút toàn bộ bình phản ứng chuyển thành màu đen cho đến khi kết thúc thí nghiệm tại 50 phút (hình 3d).

Tuy nhiên phụ thuộc vào điều kiện phản ứng như: khoảng cách giữa điện cực anot và catot, đường kính điện cực, điện thế và dòng phản ứng hoặc mật độ dòng và nhiệt độ đạt được của các dung dịch mà diễn biến các quá trình tạo plasma anot và catot sẽ xảy ra với mức độ và thời gian khác nhau (hình 4 và 5).

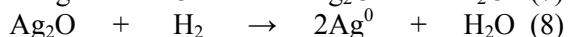
Do sự khác nhau về diễn biến của quá trình xuất hiện plasma điện cực những điều kiện để tạo ra nano trong lòng dung dịch cũng khác nhau nên tính chất của các sản phẩm thu được như màu của các dung dịch nano bạc cũng rất khác nhau. Quá trình biến đổi màu chứng tỏ đã có các phản ứng trong lòng dung

dịch được thực hiện do các phản ứng hóa học khi các chất sinh ra trên anốt và catốt khuếch tán vào

lòng dung dịch [22, 23] gặp nhau và phản ứng ôxi hóa - khử hoặc trao đổi như:

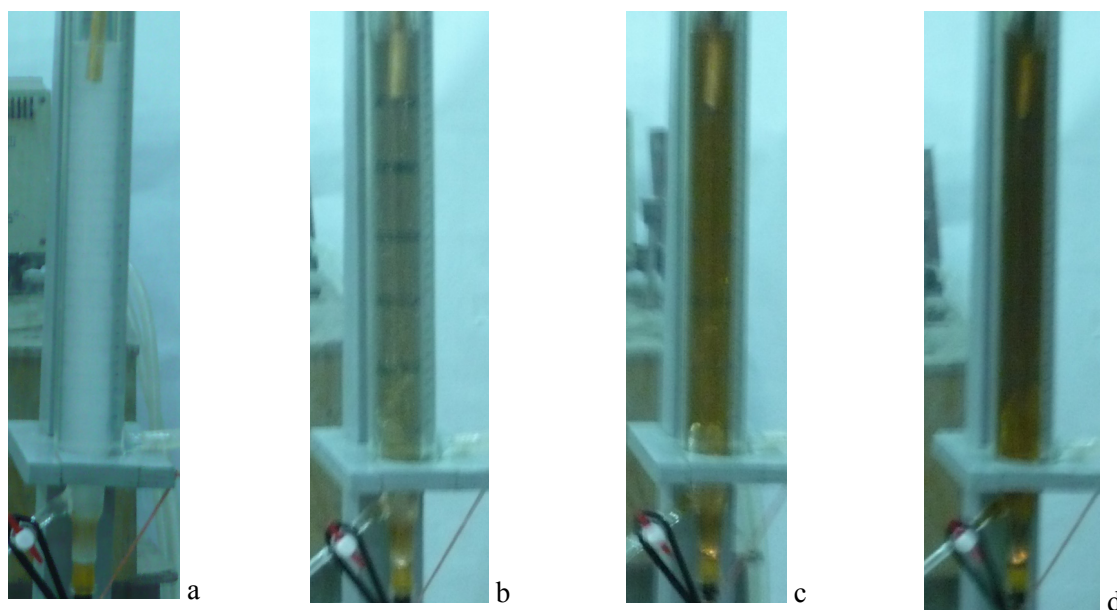


Hình 3: Quá trình tạo nano bạc tại phản ứng hòa tan anốt dòng DC điện áp cao với: điện cực $\text{Ø} = 3 \text{ mm}$, khoảng cách $H = 350 \text{ mm}$, $I = 55,55 \text{ mA}$, $i = 4,26 \text{ mA/mm}^2$, $U = 7,22 \text{ kV}$, (a) thoát khí, (b) sau 10 phút dung dịch chuyển vàng và phát sáng do plasma ở anốt, (c) sau 22 phút dung dịch sôi mạnh, phát sáng do plasma ở catốt, (d) từ 30 phút dung dịch chuyển màu đen

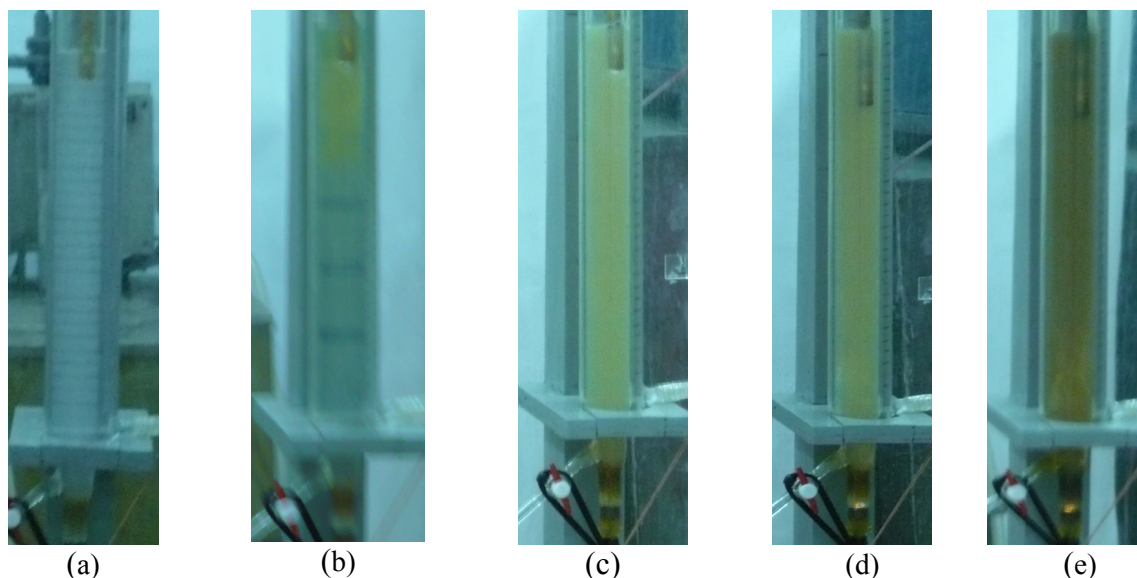


Sự tạo thành các nguyên và phân tử bạc kim loại hoặc bạc oxit là điều kiện để phát triển tạo thành các

hạt nano bạc trong dung dịch tạo nên những hiệu ứng ánh sáng nhất định [8]. Từ các hình 3, 4 và 5 ta cũng đã nhận thấy diễn biến tạo màu, mức độ màu và cường độ màu cũng rất khác nhau rất phụ thuộc vào các điều kiện phản ứng như khoảng cách, đường kính và thời gian để tạo ra các plasma điện cực.



Hình 4: Quá trình tạo nano bạc tại phản ứng hòa tan anốt dòng DC điện áp cao với: điện cực $\text{Ø} = 4 \text{ mm}$, khoảng cách $H = 350 \text{ mm}$, $I = 52,83 \text{ mA}$, $i = 4,2041 \text{ mA/mm}^2$, $U = 6,20 \text{ kV}$, (a) 13 phút bọt trắng, (b) 16 phút bọt khí lớn ở catốt, xuất hiện plasma catốt, (c) 18 phút dung dịch chuyển vàng đậm, plasma catốt, dung dịch sôi, (d) 22 phút vàng sẫm, plasma catốt kết thúc sau 25 phút



Hình 5: Quá trình tạo nano bạc tại phản ứng hòa tan anốt dòng DC điện áp cao với: điện cực $\varnothing = 5$ mm, khoảng cách $H = 350$ mm, $I = 52,13$ mA, $i = 4,1497$ mA/mm², $U = 6,15$ kV, (a) thoát khí, (b) 16 phút dung dịch bắt đầu chuyển vàng, (c) 23 phút plasma anốt có bọt khí, (d) 26 phút bọt khí và plasma ở catốt, (e) sôi mạnh, màu vàng đậm đục, kết thúc sau 35 phút

Hình 6 trình bày ảnh TEM của nano bạc với độ phóng đại 100 nm (hình 6a) và 20 nm (hình 6b) cũng như phân bố cỡ hạt theo laser (hình 6c) và theo Aligen (hình 6d) đều cho thấy dạng hình cầu của các cỡ hạt và có kích thước hạt theo các cấp khác nhau. Kích thước hạt xác định theo TEM phần lớn đều nhỏ hơn 15 nm nhưng xác định theo phân bố thường tập trung các vùng hạt tương ứng với các cấp từ 2 đến 5 nm, từ 7 đến 15 nm và từ 40 đến 100 nm. Như vậy từ phân tử bạc kim loại hoặc bạc ôxít được tạo thành theo các phản ứng (5), (7) và (8) sẽ phát triển thành hạt nano có kích thước lớn hơn theo các cấp. Quá trình tạo hạt nano bằng phản ứng điện hóa DC cao áp cũng sẽ giống như các quá trình từ phản ứng khử hóa học giữa bạc nitrat bằng glucozơ, citrate, natriborhydrua [17-19] nhưng với điểm khác biệt là ion bạc được tạo thành từ phản ứng hòa tan anốt trong nước cất bằng dòng DC cao áp còn chất khử là hiđrô nguyên tử mới tạo thành từ phản ứng điện ly nước trên catốt hoặc các phản ứng điện ly nước bằng plasma điện cực. Theo [20] các phân tử bạc kim loại dễ kết lại với nhau bằng lực Van der Waals hoặc hấp phụ trên bề mặt các ion H^+ hay Ag_2O [21] là những chất rất dễ bị khử khi gặp H_2 . Nhờ vậy hạt bạc kim loại lớn lên đến các kích thước nano theo các cấp hạt khác nhau như đã trình bày tại hình 6.

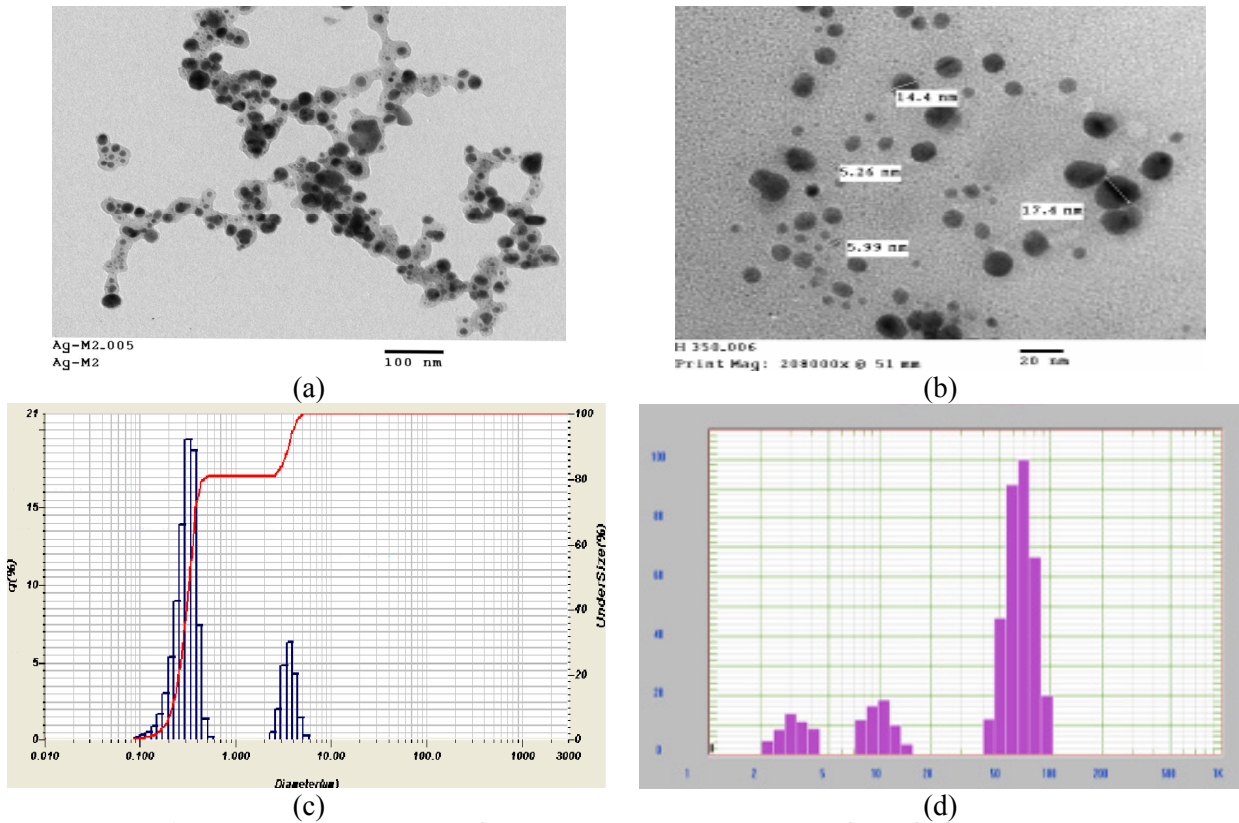
3.3. Phổ UV-Vis

Hình 7 biểu diễn màu của các dung dịch nano bạc điều chế tại các chế độ khác nhau tương ứng như

được nêu ở bảng 2. Hình 7 cho thấy màu của các sản phẩm biến đổi rất phong phú từ vàng nhạt đến vàng đậm, nâu, xám nhạt, xám đậm và đen.

Từ kết quả thu được về nồng độ của các sản phẩm tại các điều kiện phản ứng như đường kính điện cực, điện thế cao áp, dòng và nhiệt độ (bảng 2) ta chưa nhận thấy được tính quy luật của các điều kiện phản ứng, nồng độ của sản phẩm và màu sản phẩm thu được. Do màu biểu hiện tính chất quang học của các hạt nano bạc phụ thuộc không chỉ vào nồng độ mà còn phụ thuộc vào kích thước và tính chất của các hạt được tạo nên trong hệ các phản ứng điện hóa hòa tan anốt và thoát khí, plasma điện cực và khử hóa học trong lòng dung dịch nên không dễ không chế quy luật tạo màu.

Bằng cách xác định sự phụ thuộc của phổ UV-Vis vào thời gian phản ứng với các điện cực có đường kính khác nhau được trình bày tại hình 8 cho thấy: cực đại hấp thụ của các dung dịch nano bạc dao động trong khoảng 410 nm đến 450 nm cũng như chiều cao của phổ cũng rất khác nhau khi thời gian và đường kính của các điện cực khác nhau. Sự khác nhau về vị trí của cực đại hấp thụ phổ UV-Vis cũng chứng tỏ sự khác nhau về màu của sản phẩm nano bạc được điều chế từ dòng DC cao áp cũng tương tự như dung dịch nano bạc được điều chế bằng các phương pháp khác [8].



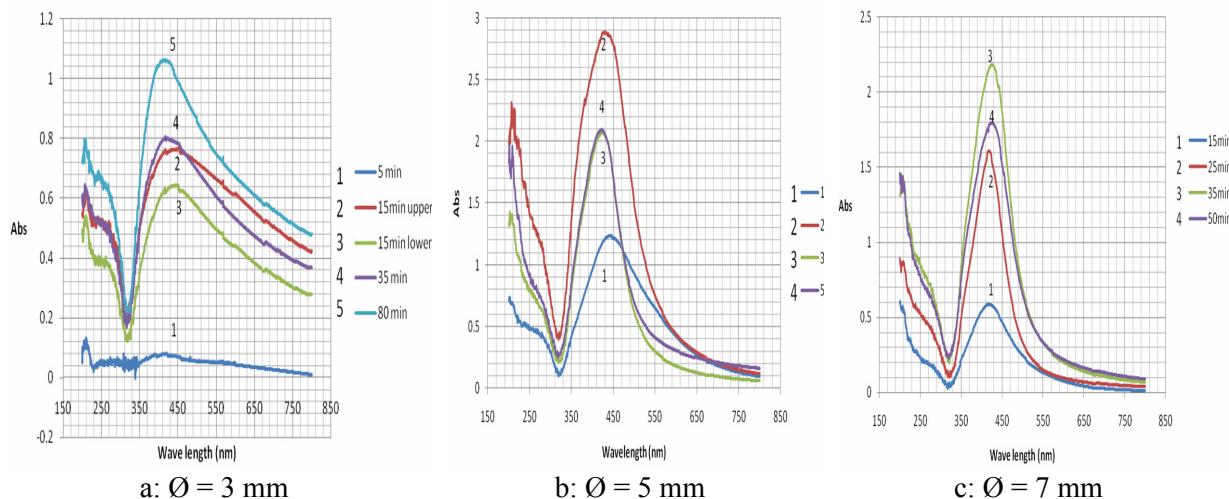
Hình 6: Ảnh TEM (a, b) và phân bố cỡ hạt (c, d) nano bạc được điều chế bằng dòng DC cao áp



Hình 7: Màu của các sản phẩm nano bạc được điều chế bằng quá trình hòa tan anot với các điều kiện phản ứng như khoảng cách điện cực 500 mm, thời gian biến đổi từ 25 phút (M6, M18, M30), 35 phút (M10, M22, M34) và 50 phút (M2, M14, M26, M38) và đường kính điện cực khác nhau: $\varnothing = 3$ mm (M2), $\varnothing = 4$ mm (M6, M10, M14), $\varnothing = 5$ mm (M18, M22, M26), $\varnothing = 7$ mm (M30, M34, M38)

Bảng 2: Các thông số phản ứng điện hóa với hiệu ứng plasma tương ứng của các mẫu tại hình 3

Mẫu	M2	M6	M10	M14	M18	M22	M26	M30	M34	M38
U_{DC} , kV	10,66	10,33	6,15	7,22	9,50	7,67	8,64	9,25	9,12	8,30
I_{DC} , mA	56,73	55,62	52,13	53,55	63,60	64,34	67,80	68,0	69,32	53,70
\varnothing , mm	3	4	4	4	5	5	5	7	7	7
i , mA/mm ²	8,03	4,42	4,15	4,42	3,24	3,28	3,45	1,84	1,88	1,45
H_{A-C} , mm	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
T_{SP} , °C	65	57	69	53	72	68	75	72	76	84
t_{PU} , phút	50	25	35	50	25	35	50	25	35	50
c_{Ag_2} , mg/l (AAS)	61,38	43,64	34,18	40,54	108,5	213,9	66,07	68,53	106,9	98,48
Màu	Đen	Vàng	Vàng	Xám	Xám	Đen	Vàng	Nâu	Đen	Vàng



Hình 8: Phổ UV-Vis của các dung dịch nano bạc được điều chế bằng quá trình hòa tan anốt với thời gian và kích thước điện cực khác nhau (a) 3 mm, (b) 5 mm và (c) 7 mm

4. KẾT LUẬN

Dung dịch nano bạc được điều chế bằng dòng một chiều điện áp cao luôn có sự kết hợp với hiệu ứng của quá trình tạo plasma trên các điện cực anốt và catốt. Sự phân hủy nước để tạo khí bằng plasma điện cực sẽ cung cấp các chất đặc biệt là lượng lớn khí H_2 mới sinh để khử ion bạc cũng như hợp chất của bạc được thành do phản ứng hòa tan anốt điện cực bạc, thúc đẩy quá trình tạo nano bạc trong nước cất. Kích thước hạt nano bạc dao động đến 40 nm với các cấp hạt khác nhau. Bản chất của các quá trình tạo thành plasma điện cực như khoảng cách giữa anốt và catốt, đường kính điện cực, thời gian phản ứng có ảnh hưởng đến các đặc tính của dung dịch nano bạc được phản ánh qua phổ UV-Vis, màu của sản phẩm dung dịch nano bạc.

Lời cảm ơn: Tác giả xin cảm ơn quỹ NAFOSTED đã tạo điều kiện để thực hiện đề tài, mã số 104.03-2010.33.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyen Duc Hung, Mai Van Phuoc, Nguyen Minh Thuy. *Manufacturing of nano silver solution using electrochemical technology*, Vietnam Journal of Chemistry, **50(2)**, 261-263 (2012).
2. Nguyễn Đức Hùng, Nguyễn Tiến Dũng, Mai Văn Phước, Nguyễn Minh Thùy. *Điều chế dung dịch nano bạc kim loại bằng công nghệ điện hóa siêu cao áp để diệt khuẩn*, Tạp chí Kỹ Thuật và Trang bị, **5(140)**, 43-46 (2012).
3. Nguyễn Đức Hùng, Mai Văn Phước, Nguyễn Minh Thùy. *Độ dẫn điện của dung dịch nano bạc*, Tạp chí

Nghiên cứu Khoa học và công nghệ quân sự, **2(17)**, 96-101 (2012).

4. S.-K. Sengupta, R. Singh, A.-K. Srivastava. *A Study on the Origin of Nonfaradaic Behavior of Anodic Contact Glow Discharge Electrolysis*, J. Electrochem. Soc., **145(7)**, 2209-2213 (1998).
5. T. Mizuno, T. Akimoto, K. Azumi, T. Ohmori. *Hydrogen Evolution by plasma electrolysis in aqueous solution*, Japanese Journal of Applied Physics, **4(1A)**, 396-401 (2005).
6. C. Richmonds, R. M. Sankaran. *Plasma-liquid electrochemistry: Rapid synthesis of colloidal metal nanoparticles by microplasma reduction of aqueous cations*, Applied Physics Letters, **93**, 13151 (2008).
7. Y. Toriyabe, S. Watanabe, S. Yatsu, T. Shibayama, T. Mizuno. *Controlled formation of metallic nanoball during plasma electrolysis*, Applied Physics Letters, **91**, 041501 (2007).
8. S. L. Smitha, K. M. Nisamudeen, D. Philip, K. G. Gopchandran. *Studies on surface Plasmon resonance and photoluminescence of silver nanoparticles*, Spectrochimica Acta, Part A, **71**, 186-190 (2008).
9. T. Mizuno, T. Ohmori, T. Akimoto, A. Takahashi. *Production of Heat during Plasma Electrolysis in Liquid*, Jpn. J. Appl. Phys., **39**, 6055-6061 (2000).
10. S.-K. Sengupta, O.-P. Singh. *Contact glow discharge electrolysis - a study of its chemical yields in aqueous inert - type electrolytes*, Journal of Electroanalytical Chemistry, **369**, 113-120 (1994).
11. K.-H. Tseng, Y.-C. Chen. *Continuous synthesis of colloidal silver nanoparticles by electrochemical discharge in aqueous solutions*, J. Nanopart Res, DOI 10.1007/s11051-010-9937-y (2010).
12. T. Mrzuno, T. Akimoto, T. Ohmori. *Confirmation of anomalous hydrogen generation by plasma*

- electrolysis*, 4th Meeting of Japan C.F. Research Society, Iwate University (2003).
13. Nguyễn Đức Hùng, Nguyễn Minh Thùy, Đỗ Thanh Tuấn. *Dung dịch nhôm nano điều chế bằng quá trình hòa tan anot điện áp cao*, Tạp chí Nghiên cứu Khoa học và Công nghệ Quân sự, **8(14)**, 97-101 (2011).
 14. Tạ Thị Phương Hòa. *Plasma và ứng dụng trong kỹ thuật vật liệu polyme*, Nxb. Bách khoa - Hà Nội (2012).
 15. Nguyễn Đức Hùng, Lưu Việt Hưng, Nguyễn Minh Thùy. *Ứng dụng UV-Vis nghiên cứu dung dịch nano bạc điện hóa*, Tạp chí Nghiên cứu Khoa học và Công nghệ Quân sự, **6(19)**, 94-99 (2012).
 16. J. H. Chaffin, S. M. Bobbio, H. I. Inyang, L. Kaanagbara. *Hydrogen Production by Plasma Electrolysis*, J. Energy Eng., **132**, 104 (2006).
 17. Z. S. Pillai, Kamat P.V. *What factors control the size and shape of silver nanoparticles in citrate ion reduction method*, J. Phys. Chem., B., **108**, 945-951 (2004).
 18. N. Lkhagvajav, I. Yaşa, E. Çelik, M. Koizhaiganova, Ö. Sari ARI. *Antimicrobial activity of colloidal silver nanoparticles prepared bay sol-gel method*, Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures, January-March, **6(1)**, 149-154 (2011).
 19. M. Dawy, H. M. Rifaat, Samia A. Moustafa, Hanan A. Mousa. *Physicochemical Studies on Nano Silver Particles Prepared by different Techniques*, Australian Journal of Basic and Applied Sciences, **6(3)**, 257-262 (2012).
 20. Rashid A. Khaydarov, Renat R. Khaydarov, Olga Gapurova, Yuri Estrin, Thomas Sheper. *Electrochemical method for the synthesis of silver nanoparticles*, J. Nanopart Res, **11**, 1193-1200 (2009).
 21. Panuphong Pootawang, Nagahiro Saito, Osamu Takai and Sang-Yul Lee. *Synthesis and Characteristics of Ag/Pt bimetallic nanocomposites by arc-discharge solution plasma processing*, Nanotechnology, **23**, 395602 (8pp) (2012).
 22. Nguyễn Đức Hùng. *Phản ứng điện hóa tại điện áp cao với plasma điện cực*, Tạp chí Hóa học, **50(DB)**, 101-111 (2012).
 23. Nguyen Duc Hung, Nguyen Minh Thuy, Nguyen Nhi Tru. *Characteristics and mechanism of nanosilver formed by anodic dissolution with DC voltage*, The Eur. Phys. Jour. Appl. Phys., **63**, 120466 (10pp) (2013).

Liên hệ: Nguyễn Đức Hùng

Viện Hóa học-Vật liệu,
Viện Khoa học và Công nghệ Quân sự
17 Hoàng Sâm, Cầu Giấy, Hà Nội
Email: nguyenduchung1946@gmail.com
Điện thoại: 0913557908.