

NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO MÀNG MỎNG SẮT ĐIỆN - ÁP ĐIỆN PZT BẰNG PHƯƠNG PHÁP SOL - GEL ĐỊNH HƯỚNG ỨNG DỤNG TRONG CẢM BIẾN SINH HỌC

Nguyễn Thị Quỳnh Chi¹, Nguyễn Vũ Cẩm Bình¹, Nguyễn Đức Minh², Vũ Ngọc Hùng²

TÓM TẮT

Trong công trình này, kết quả nghiên cứu cấu trúc và tính chất điện, áp điện của màng mỏng $Pb(Zr_{0,6},Ti_{0,4})O_3$ - (P60/P40) và $Pb(Zr_{0,4},Ti_{0,6})O_3$ - (P40/P60) trên đế Pt/Ti/SiO₂/Si(100) chế tạo trên cơ sở phương pháp Sol-gel đã được trình bày. Mặt khác, trong bài báo này cũng tiến hành những nghiên cứu tiếp theo để tạo ra màng mỏng dị lớp PZT có chất lượng cao và tập trung nghiên cứu để cải thiện tính chất sắt điện và áp điện trong màng mỏng dị lớp PZT nhằm định hướng trong các ứng dụng của nhóm vi hệ thống cơ điện tử (MEMS), như chế tạo thanh cantilever của linh kiện cảm biến sinh học. Bằng việc tối ưu hóa quy trình xử lý nhiệt, đặc biệt là nghiên cứu chế tạo được màng mỏng PZT dị lớp với tính chất sắt điện và áp điện đã được nâng cao rõ rệt. Màng mỏng (P60/P40) và (P40/P60) trên đế Pt(111)/Ti/SiO₂/Si có định hướng ưu tiên (100) đã được chế tạo thành công có các thông số độ phân cực dư P_r , điện trường khử phân cực E_c , hằng số điện môi ϵ và hệ số áp điện d_{33} đạt các giá trị tương ứng là 19 $\mu C/cm^2$, 79 kV/cm, 1080 và 70 pm/V. Kết quả phân tích nhiễu xạ tia X và bề mặt cắt lớp SEM cho thấy màng mỏng được ủ nhiệt ở 650°C, trong 60 phút, tại phòng sạch đã xác định được có cấu trúc đặc khít, pha perovskite đa tinh thể, vật liệu Perovskite dị lớp và độ dày của mỗi lớp màng mỏng là 60 nm.

Từ khóa: *Áp điện, cấu trúc dị lớp, PZT, sắt điện, Sol-gel.*

I. MỞ ĐẦU

Trong những năm gần đây, sự phát triển của công nghệ vi điện tử và công nghệ sinh học đã góp phần to lớn vào vấn đề phát hiện sớm, nhanh và chữa khỏi một số bệnh lây nhiễm trong đời sống, sinh hoạt của con người, làm rõ hơn cơ chế sinh lý, sinh trưởng phức tạp trong cơ thể sống và xác định chuyển đổi gen, khả năng kháng bệnh...trong cây xanh. Việc ứng dụng cảm biến sinh học và thiết bị đi kèm giúp chúng ta chẩn đoán xác định, điều trị bệnh một cách dễ dàng và nhanh chóng hơn. Các công trình nghiên cứu gần đây cho thấy các màng mỏng sắt điện PZT với hệ số áp điện lớn của màng mỏng PZT đã và đang được sử dụng nhiều trong các linh kiện cảm biến sinh học để phát hiện các tế bào, protein hay các phân tử DNA. Ngoài ra, với việc chế tạo ra đồng thời nhiều loại linh kiện trên cùng một phiến silic sẽ làm giảm giá thành sản phẩm.

Các vật liệu sắt điện với khả năng chuyển đổi điện – cơ đã và đang đóng một vai trò quan

trọng trong các linh kiện MEMS (Microelectromechanical systems). Tính chất áp điện của chúng có thể được sử dụng trong các thiết bị truyền động [1,2], cảm biến [3-5] và trong các thiết bị chuyển đổi có kích thước micro-mét (MUTs) [6,7]; Các vật liệu có tính chất áp điện cung cấp một cơ chế chuyển đổi tín hiệu trực tiếp giữa đặc trưng cơ học và đặc trưng điện [8].

Công nghệ sol-gel dựa trên phản ứng polymer hoá hợp chất vô cơ cho những ưu điểm như độ sạch cao, dễ khống chế thành phần và đặc biệt là không đòi hỏi các thiết bị đắt tiền. Trong công trình này chúng tôi trình bày các kết quả mới về nghiên cứu ứng dụng công nghệ Sol-gel chế tạo màng mỏng dị lớp đa lớp PZT biến tính với tỉ lệ Zr/Ti: 60/40 và Zr/Ti: 40/60 bước đầu đã cải thiện được tính chất sắt điện và áp điện.

II. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Để giải quyết các vấn đề nghiên cứu trên, trong bài báo này tác giả đã dùng phương pháp nghiên cứu thực nghiệm để tạo sol-gel và quay phủ màng mỏng PZT.

¹ThS. Trường Đại học Lâm nghiệp

²Đại học Bách Khoa, Hà Nội

Quá trình tạo sol

Để nghiên cứu ảnh hưởng của cấu trúc màng dị lớp tới tính chất sắt điện của màng mỏng PZT chúng tôi chế tạo sol PZT với tỉ lệ hợp phần [Zr]: [Ti] lần lượt là 60:40 và 40:60, trên cơ sở thực nghiệm khảo sát ảnh hưởng của tỉ lệ [Zr]: [Ti]. Thông số vật lý của các nguyên liệu chế tạo sol PZT được trình bày

trong bảng 01. Dung môi MOE và các alkoxide phải được bảo quản trong tủ lạnh. Bởi vì các hợp chất alkoxide này rất nhạy với môi trường không khí nóng ẩm làm cho chúng nhanh chóng bị thủy phân tạo kết tủa. Muối chì axetat cũng cần phải được bảo quản trong môi trường khô ráo tránh hơi ẩm làm sai hụt lượng muối khi cân.

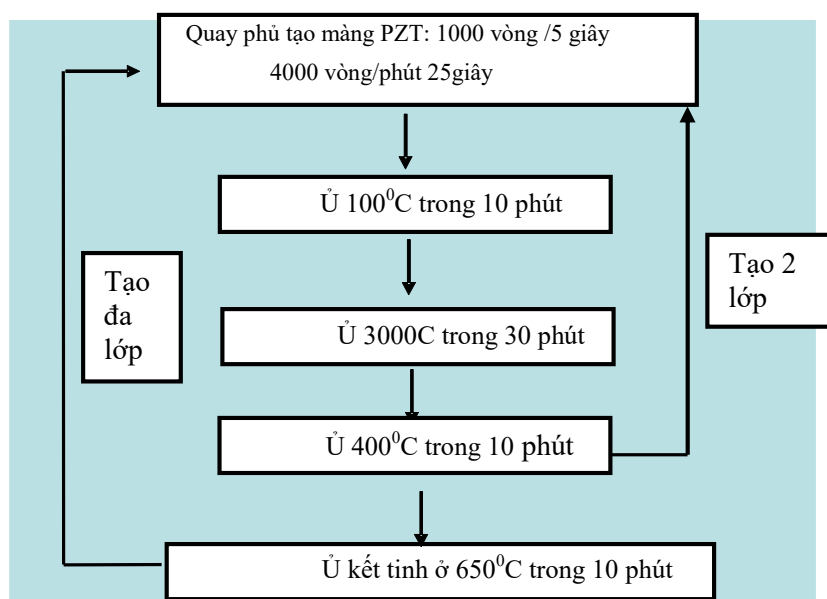
Bảng 01. Các hóa chất sử dụng cho tổng hợp PZT

TT	Hóa chất	M (g/mol)	T _b (°C)	d (g/ml)
1	Pb(CH ₃ COO) ₂ ·3H ₂ O (Chì axetat)	378		
2	Zr (n-C ₃ H ₇ O) ₄ (Zirconi n-propoxit) 70%	327.58	208	1.045
3	Ti(i-C ₃ H ₇ O) ₄ (Titan iso propoxit) 98%	284.25	170	1.043
4	MOE (CH ₃ OCH ₂ CH ₂ OH)	76.10	125	0.965
5	CH ₃ COOH (Axit axetic) 99.5%	60.05	118	1.05

Dung dịch PZT được điều chế bằng cách trộn các hợp chất cần thiết để tạo thành PZT theo đúng tỷ lệ thành phần. Các hợp chất như muối chì (II) axetat trihydrate [Pb(CH₃COO)₂·3H₂O], Tetra-isopropylorthotitanate Ti(i-C₃H₇O)₄ và

Zirconium(IV) propoxide Zr(n-C₃H₇O)₄ được trộn trong dung môi 2-methoxyetanol CH₃OC₂H₅OH (MOE) để tạo thành các dung dịch sol thành phần, sau đó sol PZT được tạo bằng cách trộn 3 sol thành phần lại với nhau.

Quy trình quay phủ màng mỏng PZT

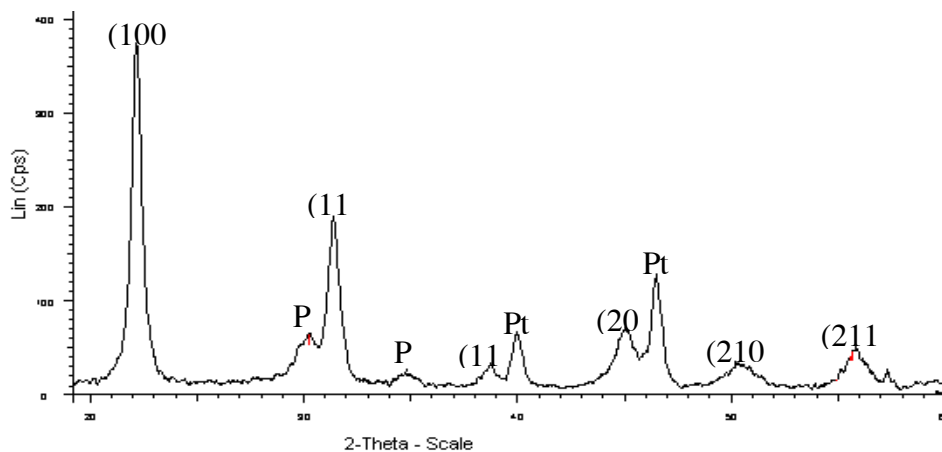


Hình 01. Quy trình chế tạo màng PZT (quy trình 1)

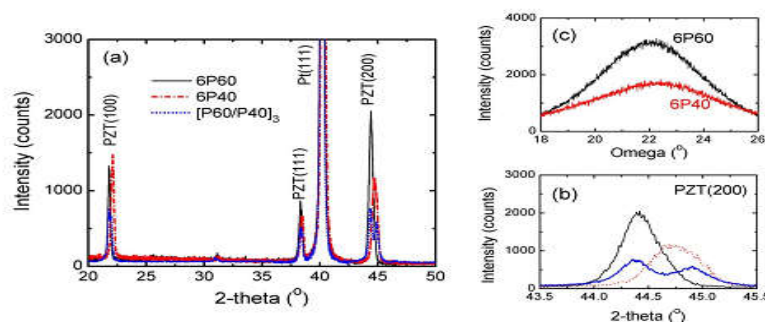
Đối với quy trình mới (quy trình 2) màng mỏng PZT vẫn được quay phủ lên trên đế Pt/Ti/SiO₂/Si(100) nhưng theo chế độ công nghệ mới là: 4000 vòng trong 30 giây và để loại bỏ lượng nước và dung môi vô cơ, hữu cơ, mỗi lớp màng được sấy khô thăng lên nhiệt độ 400⁰C trong 10 phút. Quá trình này được thực hiện từ 2 đến 8 lần để thu được màng có độ dày mong muốn. Để tinh thể hóa tạo pha perovskite và tránh rạn nứt, màng PZT được nung ủ ở nhiệt độ 650⁰C trong khoảng 60 phút đối với quy trình 1, thời gian ủ là 120 phút.

Thành phần pha của màng mỏng được phân

Kết quả nhiễu xạ tia X:



Hình 2a. Phổ nhiễu xạ tia X của màng PZT theo quy trình



Hình 2b. Giải đồ nhiễu xạ tia X theo quy trình

Hình 2a,b trình bày kết quả nhiễu xạ của màng PZT theo quy trình 1 và 2 trên đế Pt/Ti/SiO₂/Si(100). Hình 2a màng mỏng PZT xử lý nhiệt ở 650⁰C có cấu trúc perovskite với định hướng ngẫu nhiên nhưng vẫn tồn tại pha phân sắt điện P_y. Hình 2b là kết quả nhiễu xạ

tích trên máy nhiễu xạ tia X còn chiều dày màng được khảo sát bằng kỹ thuật chụp ảnh SEM mặt cắt lớp trên hệ đo HRSEM: Zeiss:1550 (hình 2). Đặc trưng sắt điện của vật liệu (đường cong điện trở P-E) được tiến hành khảo sát cho phép đánh giá tính chất điện môi của vật liệu (hằng số điện môi và độ tổn hao điện môi theo tần số).

III. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

Thông qua phép đo nhiễu xạ tia X (X-ray diffraction) để nghiên cứu cấu trúc tinh thể của vật liệu, kết quả như sau:

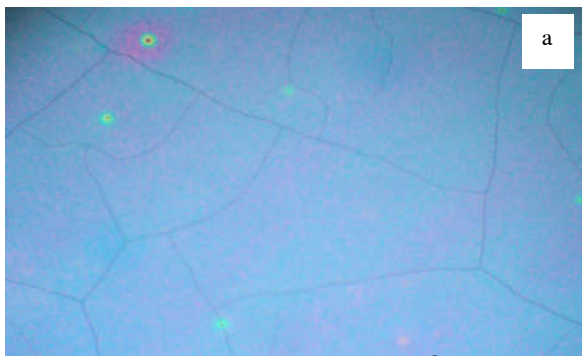
tia X xác định theo quy trình chế tạo 2 đã được tối ưu để hạn chế nứt gãy bằng cách bỏ qua quá trình ủ sơ bộ tại nhiệt độ 300⁰C trong vòng 30 phút và giới hạn thời gian ủ kết tinh là 650⁰C/60 phút. Giải đồ nhiễu xạ cho thấy các đỉnh nhiễu xạ của pha Perovskite (P_e) ở góc

2θ : 22° , 38° và 45° tương ứng với các họ mặt (100), (111) và (200). Màng PZT tinh thể hoá ở 650°C có cấu trúc pha perovskite đa tinh thể ABO_3 như mong muốn, trên giản đồ chúng tôi không quan sát thấy lượng nhỏ pha Pyrochlore (P_y) $\text{A}_2\text{B}_2\text{O}_7$ - pha thiếu chì không mong muốn vì nó làm giảm tính chất điện của màng. Trong quá trình ủ nhiệt để chuyển hoàn toàn pha P_y thành pha P_e cần hàm lượng bù Pb đáng kể. Nếu như lượng Pb dư được tính toán từ giai đoạn tạo Sol không đủ bù cho lượng Pb bay hơi sẽ gây ra hiện tượng thiếu hụt Pb và dẫn tới sự tồn tại pha P_y trên lớp bề mặt màng PZT. Kết quả nhiễu xạ tia X của (P60), (P40) và dị lớp xen kẽ PZT [P60/P40] dư 15% Pb trong các báo cáo này chúng tôi đều không quan sát

thấy các pha P_y . Với kết quả đo được trình bày trên hình 2b chúng tôi nhận thấy quy trình nghiên cứu xử lý nhiệt trong quá trình tạo màng là hoàn toàn hợp lý.

Ở công trình này kết quả nhiễu xạ tia X cũng nhận được hoàn toàn đơn pha perovskite với màng PZT 6 lớp: (P60), (P40) và dị lớp xen kẽ PZT [P60/P40]₃ dư 15% chì, ngoài ra giản đồ nhiễu xạ tia X của các mẫu đa lớp PZT P60: 6 lớp và P40: 6 lớp khi phóng to, PZT40: 6 lớp có sự dịch chuyển của đỉnh PZT (200) về phía góc 2θ lớn và cường độ giảm $\frac{1}{2}$ so đối với mẫu PZT P60: 6 lớp và đặc biệt có sự tách đỉnh của PZT dị lớp xen kẽ [P60/P40]₃ tại góc 2θ : 45° chứng tỏ có sự tồn tại của lớp sắt điện dị lớp xen kẽ.

Ảnh quang học của màng PZT

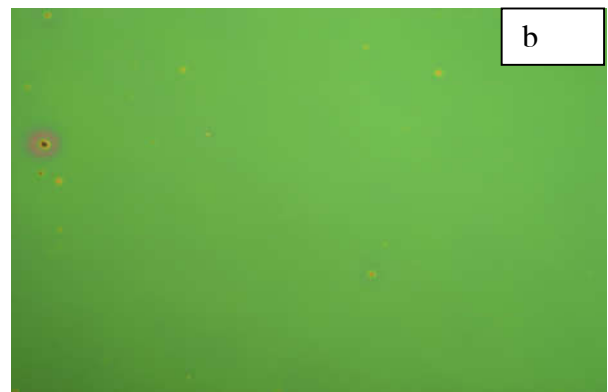


Hình 3a,b. Ảnh quang học của màng PZT trên điện cực Pt sử dụng quy trình ủ nhiệt 1, P(60) 6 lớp (a), PZT(40) 6 lớp (b)

Hình 3a,b Khi thực hiện quy trình xử lý nhiệt 1, trong quá trình tạo màng mỏng PZT mẫu được quan sát bằng kính hiển vi quang học sau quá trình ủ kết tinh nhận thấy rằng màng có hiện tượng nứt vỡ và có hiện tượng

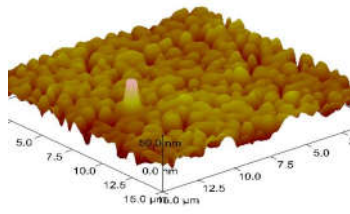
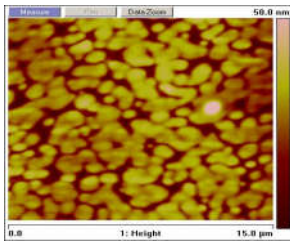
rosette (tụ đám).

Hình 4 a, b Ảnh quang học của màng PZT khi sử dụng quy trình xử lý nhiệt 2 chúng tôi đã thu được một số mẫu không có hiện tượng nứt, nhưng hiện tượng rosette (tụ đám) vẫn nhiều.

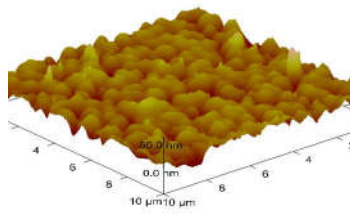
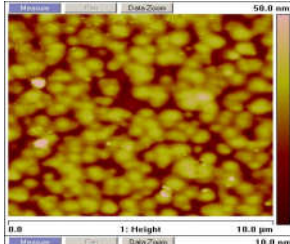


Hình 4a,b. Ảnh quang học của màng PZT trên điện cực Pt sử dụng quy trình ủ nhiệt 2, P(60) 6 lớp (a), PZT(40) 6 lớp (b)

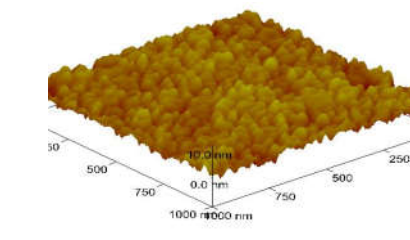
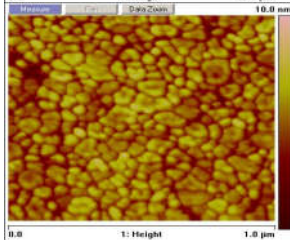
Hình thái bề mặt màng



Hình 5 a. Hình thái bề mặt màng P60 theo quy trình 1



Hình 5 b. Hình thái bề mặt màng P60 theo quy trình 2

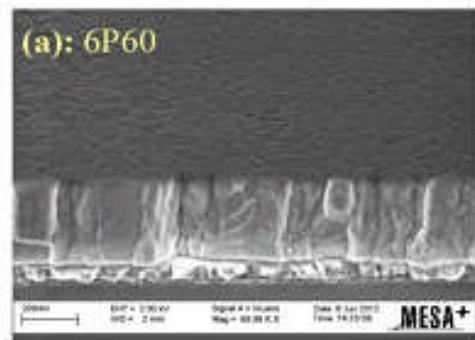


Hình 5 c. Hình thái bề mặt màng dị lớp (P60/P40)₃ theo quy trình 2

Trên hình 5c hình thái bề mặt của màng dị lớp (P60/P40)₃ theo quy trình 2 cho kết quả bề mặt tốt nhất.

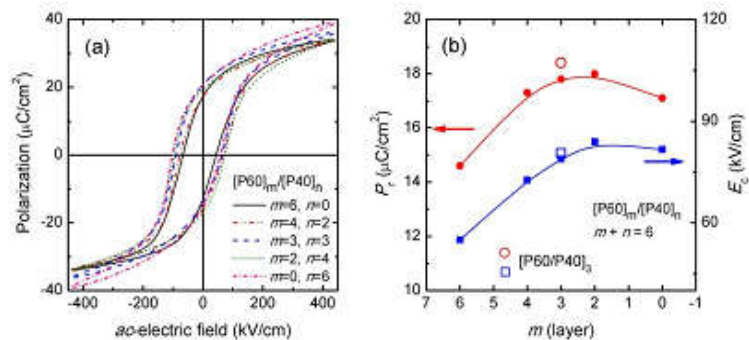
Hình ảnh SEM

Đặc trưng cấu trúc bề mặt và chiều dày mẫu được đánh giá trong ảnh SEM bề mặt và SEM mặt cắt lớp trên hình 6. Trên hình 6 cho thấy bề mặt màng thu được là đặc. Màng PZT thu được có bề dày 360 nm với 6 lần quay phủ, trung bình mỗi lớp màng cho bề dày xấp xỉ 60 nm.



Hình 6. Ảnh SEM mặt cắt lớp

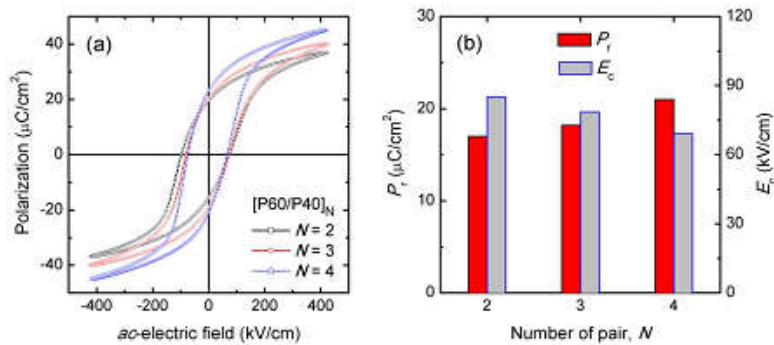
Đặc trưng điện trở



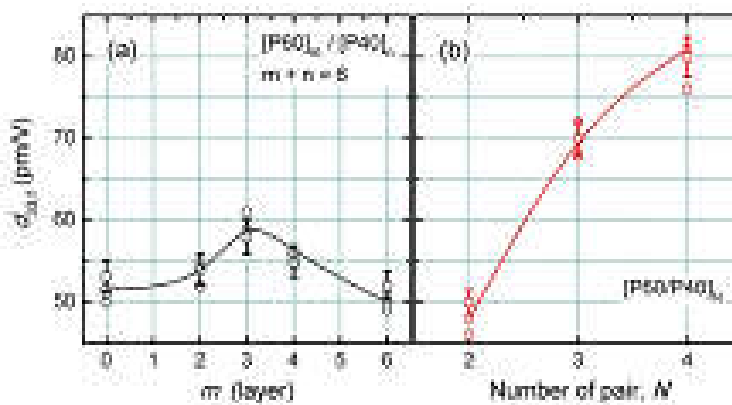
Hình 7. Đường cong đặc trưng điện trở

Trên đường cong đặc trưng điện trở P-E (hình 7a) thể hiện sự khác nhau về tính chất sắt điện. Trên hình 7b tính chất sắt điện của màng mỏng dị lớp xen kẽ (P60/P40)₃ P_r là 19 μC/cm² cao hơn so với dị lớp thành phần [P60]₃P40₃ và tính chất sắt điện còn cao hơn nữa đối với màng mỏng PZT dị lớp xen kẽ (P60/P40)₄ ngược lại E_c lại nhỏ nhất khi quan sát trên hình 8 và bảng 2 đó là mục đích chúng tôi mong muốn để nâng hệ số áp điện d_{ij} khi chế tạo mẫu dị lớp xen kẽ nhằm định hướng ứng dụng khi chế tạo thanh cantilever của linh kiện cảm biến sinh học. Nguyên nhân dẫn đến độ phân cực dư P_r lớn là khi chế tạo mẫu chọn vật liệu có thành phần nằm lân cận biên pha hình thái học do đó làm tăng tính chất điện của PZT, điều đó cho thấy chất siêu điện môi và tính chất sắt điện của màng mỏng dị lớp là kết quả từ một sự tương tác giữa sắt điện ở pha phân biên (pha sắt điện có cấu trúc mặt thoi -phía giàu Zr và

pha sắt điện có cấu trúc tứ giác -phía giàu Ti). Điều này là phù hợp với việc quan sát hình thái bề mặt hình 5 a, b xuất hiện những điểm sai hỏng, nguyên nhân là do trong quá trình ủ nhiệt màng PZT xuất hiện những chỗ khuyết của chì và oxi làm suy giảm tính chất điện của màng mỏng PZT. Mặt khác, trong chu trình trễ phân cực các oxi khuyết này sẽ làm ghim những đomen lại hạn chế sự dịch chuyển và xoay vách đomen làm suy giảm tính chất sắt điện. Kết hợp với quan sát hình thái bề mặt hình 5c cũng đã khẳng định rõ hơn kết quả cấu trúc màng dị lớp xen kẽ trên hình 7b cho kết quả tốt hơn so với cấu trúc màng dị lớp một pha thành phần P60, P40 đây là mục đích chính nhóm nghiên cứu quyết định khảo sát, lựa chọn chế tạo màng mỏng có cấu trúc dị lớp xen kẽ, kết quả đã làm tăng tính chất sắt điện của màng mỏng PZT.



Hình 8. Đường cong P-E của màng PZT với số lớp khác nhau



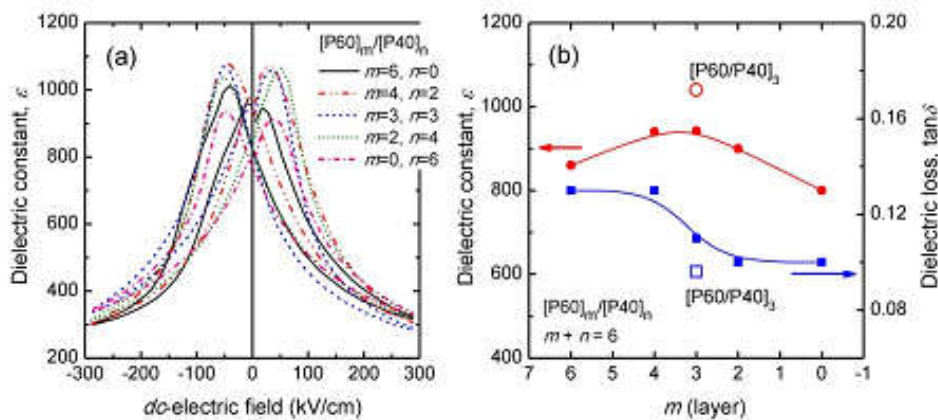
Hình 9. Hệ số áp điện phụ thuộc vào số lớp màng mỏng

Bảng 02. Sự phụ thuộc của P_r , ϵ , E_c , d phụ thuộc vào số lớp

Số lớp	P_r ($\mu\text{C}/\text{cm}^2$)	ϵ	E_c (kV/cm)	d_{33} (pm/V)
2	16	880	88	47
3	19	1080	79	70
4	22	930	70	80

Hình 10 cho thấy hằng số điện môi và tổn hao điện môi là một hàm của tần số ở nhiệt độ phòng. Như có thể thấy, hằng số điện môi của màng mỏng dị lớp là lớn hơn so với dị lớp một

pha thành phần. Nhiều nghiên cứu đã cho thấy tăng cường hằng số điện môi trong các màng mỏng dị lớp là do các tụ điện được ghép nối tiếp giữa các lớp.



Hình 10. Đường cong D-E của màng PZT

a. Hằng số điện môi b. Độ tổn hao điện môi của P60/P40

Để xác nhận tính chính xác của các mô hình dòng tụ điện, chúng tôi đã giả định hằng số điện môi hiệu quả của cấu trúc dị lớp tới là một

kết nối hàng loạt mô hình của poly-P60 và polyP40 có hằng số điện môi đạt hiệu quả:

$$\frac{1}{\epsilon_f} = \frac{d_{i,Pt/P60}}{\epsilon_{i,Pt/P60}} + \frac{d_{P60}}{\epsilon_{P60}} + \frac{d_{P40}}{\epsilon_{P40}} + \frac{d_{P60}}{\epsilon_{P60}} + \frac{d_{P40}}{\epsilon_{P40}} + \frac{d_{P60}}{\epsilon_{P60}} + \frac{d_{P40}}{\epsilon_{P40}} + \frac{d_{i,P40/Pt}}{\epsilon_{i,P40/Pt}}$$

Trong đó:

- ϵ_f , ϵ_i , ϵ_{P60} , and ϵ_{P40} : lần lượt là hệ số điện môi hiệu dụng, hệ số điện môi của lớp tiếp giáp sắt điện P60, P40 và hệ số điện môi của P60, P40 tương ứng.

- d_f , d_i , d_{P60} , and d_{P40} : lần lượt là độ dày lớp tiếp giáp sắt điện P60, P40 và độ dày lớp sắt điện P60, P40 tương ứng.

IV. KẾT LUẬN

Trong quá trình thực hiện nghiên cứu tác giả đã thu được một số kết quả chính sau:

Màng mỏng PZT(P60/P40) và PZT(P40/P60) đã được chế tạo thành công trên cơ sở phương pháp sol-gel và kỹ thuật quay phủ.

Tìm được quy trình ủ nhiệt mới cho phép giảm hiện tượng nứt vỡ, nâng cao tính chất vật lý của màng mỏng PZT/Pt/Ti/SiO₂/Si(100).

Màng mỏng PZT xử lý nhiệt ở 650⁰C ở quy trình 2 có cấu trúc perovskite với định hướng ngẫu nhiên và không tồn tại pha phân sắt điện P_y không mong muốn, mẫu màng thu được độ đồng nhất, không nứt gãy.

Giá trị phân cực dư P_r , điện trường khử phân cực E_c , hằng số điện môi ϵ và hệ số áp điện lần lượt là $19\mu\text{C}/\text{cm}^2$, $79\text{kV}/\text{cm}$, 1080 và $70\text{pm}/\text{V}$ như vậy giá trị P_r và ϵ trong nghiên cứu của chúng tôi có kết quả cao hơn so với khi chưa được cải thiện ở chế độ tối ưu, đồng thời cũng cao hơn so với hai tác giả Tae Kim,

Zhou và cộng sự ở tài liệu [9] và [10] đã khẳng định màng dị lớp PZT được chế tạo đã cải thiện tính chất sắt điện, áp điện.

Những kết quả đã nêu trên sẽ thuận lợi cho định hướng nghiên cứu tiếp theo khi ứng dụng thành công chế tạo thanh linh kiện (cantilever) của cảm biến sinh học.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. D. J. Laser and J. G. Santiago, *A review of micropumps*, J. Micromech. Microeng. 14 (2004) p. R35-R64.
2. K. S. Yun and E. Yoon *Micropumps for MEMS/NEMS and Microfluidic systems*, in *MEMS/NEMS Handbook Techniques and Applications*, Editor T. L. Cornelius (2006) Springer-Verlag, p.121-153.
3. D. Maraldo, K. Rijal, G. Campbell and R. Mutharasan, *Method for Label-Free Detection of Femtogram Quantities of Biologics in Flowing Liquid Samples*, Anal. Chem. 79 (2007) p. 2762-2770.
4. Q. Cui, C. Liu and X. F. Zha, *Study on a piezoelectric micropump for the controlled drug delivery system*, Microfluid Nanofluid 3 (2007) p. 377-390.
5. T. Alava, F. Mathieu, L. Mazenq, C. Soyer, D. Remiens and L. Nicu, *Silicon-based micromembranes with piezoelectric actuation and piezoresistive detection for sensing purposes in liquid media*, J. Micromech. Microeng. 20 (2010) p. 075014 (1-8).
6. F. Akasheh, T. Myers, J. D. Fraser, S. Bose and A. Bandyopadhyay, *Development of piezoelectric*

micromachined ultrasonic transducers, Sensors and Actuators A 111 (2004) p. 275-287.

7. H. S. Choi, J. L. Ding, A. Bandyopadhyay, M. J. Anderson and S. Bose, *Characterization and modeling of a piezoelectric micromachined ultrasonic transducer with a very large length/width aspect ratio*, J. Micromech. Microeng. 18 (2008) p. 025037(1-13).

8. Le Van Minh, Bui Thi Huyen, Nguyen Duc Minh, Vu Ngoc Hung *Fabrication of the high (001)-oriented PZT (53/47) thin films by sol-gel method for MEMS applications*. in *Kỹ yếu Hội nghị toàn quốc lần thứ 4 về Cơ Điện tử - VCM2008* (2008).

9. Kyuon-Tae Kima, Chang-II Kima,*, Sung-Gap Leeb, *Ferroelectric properties of Pb(Zr, Ti)O₃ heterolayered thin films for FRAM applications*, Microelectronic Engineering 66 (2003) 662-669

10. Y Z.H. Zhou, J. M. Xue, W. Z. Li, J. Wang, H. Zhu et al, *Heterolayered lead zirconate titanate thin films of giant polarization* p 5706-5711 Appl. Phys. Lett. 96, 5706 (2004).

STUDY ON FERROELECTRIC AND PIEZOELECTRIC PROPERTIES IN PZT THIN FILM APPLICATION FOR BIOSENSOR

Nguyen Thi Quynh Chi, Nguyen Vu Cam Binh, Nguyen Duc Minh, Vu Ngoc Hung

SUMMARY

In this paper, crystal structure, electrical properties and piezoelectric properties of $\text{PbZr}_{0.6}\text{Ti}_{0.4}\text{O}_3$ -(P60/P40) and $\text{PbZr}_{0.4}\text{Ti}_{0.6}\text{O}_3$ -(P40/P60) deposited on Pt/Ti/SiO₂/Si(100) substrate, based on Sol-gel method were reported. In this paper further research is conducted to create heterolayered PZT thin films with high quality. The focused research is to improve the ferroelectric and piezoelectric properties of heterolayered PZT thin films for the application purpose of response groups in micro-electromechanical systems (MEMS), such as making audio components and cantilever for biosensors. By optimizing thermal processing process, especially the research and manufacture of heterolayered PZT thin films with ferroelectric and piezoelectric properties have been significantly improved on the substrate Pt (111)/Ti/SiO₂/Si having preferred orientation (100). For example, (P60/P40) and (P40/P60) thin films have been successfully fabricated with the parameters P_r , E_c , ϵ and d_{33} corresponding to $19\mu\text{C}/\text{cm}^2$, $79\text{kV}/\text{cm}$, 1080 and $70\text{pm}/\text{V}$, respectively. The SEM cross - section and X - ray diffraction analysis results showed the film annealed at 650°C for 60 minutes in the clean room have polycrystalline perovskite, heterolayered perovskite, pyrochlore trace amount phase and the thickness of each thin film is 60 nm.

Keywords: *Ferroelectric, heterolayered, piezoelectric, PZT, Sol – gel.*

Người phản biện: TS. Phạm Minh Đức