

Ảnh hưởng bề dày đến cấu trúc và tính chất quang điện của màng SnO₂ pha tạp N

Nguyễn Thanh Tùng¹, Đặng Hữu Phúc², Lê Trấn^{3,*}



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

¹Khoa khoa học Tự nhiên, Trường ĐH Thủ Dầu Một, số 06 Trần Văn Ôn, Phú Hòa, Thủ Dầu Một, Bình Dương, Việt Nam

²Khoa Khoa học Cơ bản, Trường ĐH Công Nghiệp Tp HCM, số 12 Nguyễn Văn Bào, Phường 4, Quận Gò Vấp, TP HCM, Việt Nam

³Khoa Vật lý – Vật lý Kỹ thuật, Trường ĐH Khoa Học Tự Nhiên Tp HCM, 227 Nguyễn Văn Cừ, Phường 4, Quận 5, TP.HCM, Việt Nam

Liên hệ

Lê Trấn, Khoa Vật lý – Vật lý Kỹ thuật, Trường ĐH Khoa Học Tự Nhiên Tp HCM, 227 Nguyễn Văn Cừ, Phường 4, Quận 5, TP.HCM, Việt Nam
Email: ltran@hcmus.edu.vn

Lịch sử

- Ngày nhận: 27-9-2019
- Ngày chấp nhận: 01-11-2019
- Ngày đăng: 31-12-2019

DOI: 10.32508/stdjet.v2i4.604



Bản quyền

© ĐHQG Tp.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



TÓM TẮT

Màng SnO₂ pha tạp N (NTO) với các bề dày khác nhau (320, 420, 520, 620 và 720 nm) được chế tạo được lắng đọng ở 300°C trong hỗn hợp khí phún xạ Ar/N (tỷ lệ 1:1) bằng phương pháp phún xạ magnetron DC. Ảnh hưởng của bề dày đến cấu trúc tinh thể, các hằng số quang học (chiết suất hay hệ số tắt) và tính chất điện được khảo sát bằng các phép đo như nhiễu xạ tia X, phổ UV-Vis và Hall. Kết quả thu được chất lượng tinh thể và hằng số quang học cải thiện khi bề dày tăng. Cụ thể, màng NTO ở bề dày 620 nm có cấu trúc tinh thể tốt nhất và các giá trị như kích thước tinh thể, chiết suất và độ linh động hạt tải lớn nhất cũng như hệ số tắt nhỏ nhất. Ngoài ra, các màng NTO đều có cấu trúc cubic với mặt ưu tiên là (111). Bên cạnh đó, độ linh động lỗ trống tăng khi bề dày tăng và đạt giá trị lớn nhất 14,95 cm² V⁻¹ s⁻¹ đối với màng NTO – 620 nm. Tính chất điện loại p của màng NTO được kiểm định bằng phổ quang điện tử tia X (XPS) và đặc trưng I-V khi được chiếu sáng của cấu trúc dị thể p – NTO/n – Si. Trong đó, màng loại p NTO – 620 được chế tạo trên đế loại n Si cho tỷ số dòng phân cực nghịch khi chiếu sáng và không chiếu sáng 58 lần ở -6V, kết quả này cho thấy màng loại p NTO hứa hẹn trong tương lai được sử dụng làm cảm biến quang học.

Từ khóa: phún xạ magnetron DC, XRD, đặc trưng I-V, cấu trúc dị thể p-SnO₂:N/n-Si

GIỚI THIỆU

Hiện nay, màng dẫn điện trong suốt (TCOs) do sở hữu tính chất độc đáo như độ truyền qua trong vùng ánh sáng khả kiến cao đồng thời độ dẫn tốt nên nó được sử dụng trong các thiết bị quang điện như màn hình phẳng, pin mặt trời, LEDs¹⁻⁴. Ngoài ra, trong những năm gần đây, các thiết bị điện tử trong suốt được xem là lĩnh vực mới và nhận được sự chú ý của các nhà khoa học trên thế giới. Tuy nhiên, phần lớn TCOs được sử dụng trong các ứng dụng trên đều là loại n và được biết đến như ITO, ZnO pha tạp (Al, Ga hay In) hay SnO₂ pha tạp F⁵⁻⁸. Bên cạnh đó, TCOs loại p trong những năm gần đây cũng nhận được nhiều sự quan tâm nghiên cứu nhằm kết hợp với TCOs loại n để hoàn thiện các thiết bị điện tử trong suốt. Rất nhiều các vật liệu TCOs loại p đã được nghiên cứu phát triển như delafossite^{9,10}, nhóm perovskite¹¹, ZnO pha tạp As, P hay N¹²⁻¹⁴. Trong đó, SnO₂ là vật liệu TCOs được xem là ứng cử viên đầy hứa hẹn do sở hữu các tính chất nổi trội như bền cơ học, hóa học, vật lý và thân thiện môi trường. SnO₂ đạt được tính chất điện loại p bằng cách pha tạp Al, Ga, Zn, B hay In¹⁵⁻¹⁹. Tuy nhiên, hiện tượng bù điện tích xảy ra giữa khuyết oxy (Vo) và các vị trí tạp chất nhận kim loại luôn tồn tại trong SnO₂ loại p pha tạp kim loại, nghĩa là các điện tử đóng góp từ Vo không tham gia vào quá trình dẫn điện

mà bị bắt giữ bởi các vị trí tạp chất này vì vậy nồng độ lỗ trống luôn bị giới hạn. Ngoài ra, SnO₂ cũng có thể đạt được tính chất điện loại p bằng cách pha tạp nguyên tố phi kim như N mà không gây ra hiện tượng bù²⁰⁻²². Các công trình công bố về SnO₂ loại p pha tạp N²⁰⁻²² (NTO) vẫn còn rất ít và hạn chế. Trong các công trình trên cho thấy tính chất quang điện và cấu trúc tinh thể của màng NTO có mối quan hệ mật thiết với thông số chế tạo như nhiệt độ lắng đọng, nhiệt độ ủ, áp suất và khoảng cách bia và đế, phần trăm khí hỗn hợp phún xạ. Ngoài ra, một thông số khác có thể ảnh hưởng đến tính chất quang điện và cấu trúc của màng NTO là bề dày màng vẫn chưa có công trình đề cập. Vì vậy, trong công trình này nghiên cứu ảnh hưởng của bề dày màng NTO đến cấu trúc tinh thể và tính chất quang điện được chế tạo bằng phương pháp phún xạ magnetron DC từ bia gồm SnO₂, trong môi trường tỷ lệ Ar/N (1:1) ở nhiệt độ lắng đọng 300°C.

PHƯƠNG PHÁP THỰC NGHIỆM

Màng NTO được chế tạo bằng phương pháp phún xạ magnetron dc từ bia gồm SnO₂, trong môi trường tỷ lệ Ar/N (1:1) ở nhiệt độ lắng đọng 300°C, trong hệ tạo màng Univex 450. Để được xử lý theo quy trình: đầu tiên ngâm trong dung dịch NaOH 10% và acetone để loại bỏ tạp bẩn, sau đó rửa lại bằng nước cất và được sấy khô trước khi được đưa vào buồng chân không.

Trích dẫn bài báo này: Tùng N T, Phúc D H, Trấn L. Ảnh hưởng bề dày đến cấu trúc và tính chất quang điện của màng SnO₂ pha tạp N. *Sci. Tech. Dev. J. - Eng. Tech.*; 2(4):240-245.

Bia được làm sạch bằng cách phóng điện plasma trong môi trường khí Argon ở áp suất khoảng 10^{-3} Torr trong thời gian 15 phút, trước khi chế tạo màng. Áp suất khí nền ban đầu đạt 10^{-5} Torr, áp suất trong quá trình tạo màng 3×10^{-3} Torr, bên cạnh đó các thông số công suất phún xạ và khoảng cách giữa bia và đế được giữ cố định 15W và 7cm. Độ dày màng được xác định bằng phần mềm mô phỏng Scout bằng làm khớp phổ truyền qua UV-VIS với mô hình được xây dựng. Ngoài ra, kết quả thông số quang học của màng NTO như chiết suất, hệ số tắt thu được từ kết quả mô phỏng bằng phần mềm Scout¹⁶. Các màng có bề dày được thay đổi từ 320, 420, 520, 620 và 720 nm và được ký hiệu mẫu NTO – x (x = 320, 420, 520, 620 và 720). Thành phần nguyên tử và tỷ lệ các nguyên tử tồn tại trong màng NTO – 620 được xác định bằng phổ quang điện tử tia X (XPS). Cấu trúc tinh thể của màng được xác định bằng phương pháp nhiễu xạ tia X trên máy D8 – ADVANCE. Phổ truyền qua trong vùng từ 200 ÷ 1100 nm được đo bằng máy UV-Vis Jasco V-530. Tính chất điện được xác định bằng phép đo Hall Van der Pauw trên máy đo HMS3000. Đặc trưng I-V của tiếp xúc dị thể p – NTO – 620/n – Si được xác định trên máy đo Keithley 2450 trong điều kiện chiếu sáng và không chiếu sáng. Trong điều kiện chiếu sáng, mẫu được chiếu dưới đèn LEDs trắng được hiệu chuẩn từ nguồn đèn Solar chuẩn AM 1,5 với công suất 80 mW/cm².

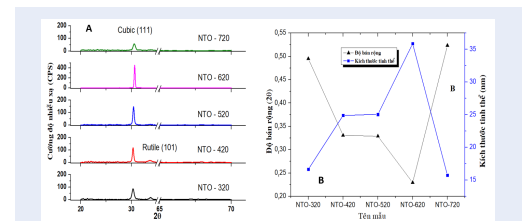
KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Tính chất điện của vật liệu SnO₂ là bán dẫn loại n bởi vì bản thân vật liệu luôn tồn tại các sai hỏng như khuyết oxy (Vo) hay thiếu ngoài nút (Sni). Trong nghiên cứu này, màng SnO₂ đạt được tính chất điện loại p bằng cách pha tạp N bằng phương pháp phún xạ magnetron dc. Các thông số chế tạo như công suất phún xạ, tỷ lệ phần trăm khí N₂ trong hỗn hợp khí phún xạ N/Ar và nhiệt độ lắng đọng ảnh hưởng đến sự thay thế O bởi N trong mạng chủ SnO₂ đã được trình bày trong công trình Nguyen *et al.*²². Kết quả công trình Nguyen *et al.*²² xác định điều kiện chế tạo tối ưu ở nhiệt độ lắng đọng 300°C trong hỗn hợp khí N/Ar = 1. Bên cạnh đó, thông số bề dày đóng một vai trò rất quan trọng quyết định hiệu suất, cũng như độ bền của các thiết bị quang điện. Vì vậy, trong công trình này tập trung nghiên cứu ảnh hưởng của bề dày đến cấu trúc và tính chất quang điện của màng NTO. Theo công trình Nguyen *et al.*²² sự thay thế O²⁻ bởi N³⁻ gây ra hiện tượng chuyển từ pha rutile sang pha cubic, kết quả này được giải thích do lực đẩy của acceptor N³⁻ kế cận dẫn đến mạng tinh thể bị nén. Thật vậy, kết quả giản đồ nhiễu xạ tia X của các màng NTO – x (x = 320, 420, 520, 620 và 720) được trình bày ở

Hình 1a, cho thấy cấu trúc của tất cả các màng NTO – x đều tồn tại pha cubic (JCPDS No. 50 – 1429), với mặt cubic (111) là mặt ưu tiên. Cường độ của mặt cubic (111) tăng sắc nét khi bề dày thay đổi từ 320 nm đến 620 nm. Ngoài ra, vị trí cubic (111) có xu hướng dịch về phía bên phải khi bề dày của màng tăng. Kết quả này được giải thích, sự thay thế O²⁻ bởi N³⁻ trong mạng chủ SnO₂ góp phần dẫn loại bỏ các sai hỏng như khuyết Oxy trong mạng chủ, đây là nguyên nhân gây ra sự nở rộng mạng tinh thể hay vị trí đỉnh nhiễu xạ có xu hướng dịch về phía góc nhỏ. Sự dẫn loại bỏ các sai hỏng này dẫn đến mạng được phục hồi, nghĩa là mạng bị co lại tương ứng với vị trí đỉnh nhiễu xạ dịch về phía góc lớn. Thật vậy, số lượng các sai hỏng như khuyết Oxy giảm tương ứng với chất lượng tinh thể của màng tăng khi bề dày màng thay đổi từ 320 nm – 620 nm. Tuy nhiên, màng NTO – 720 có cường độ nhiễu xạ giảm đáng kể do bậc tinh thể giảm. Bên cạnh đó, mặt rutile (101) tồn tại đối với các màng NTO – 320 và NTO – 420 bởi vì mặt cubic (111) chưa tinh thể tuyệt đối. Ngoài ra, kích thước hạt trung bình của màng NTO được xác định bằng công thức Scherrer (1) với độ bán rộng của mặt mạng cubic (111).

$$d = \frac{0,9\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (1)$$

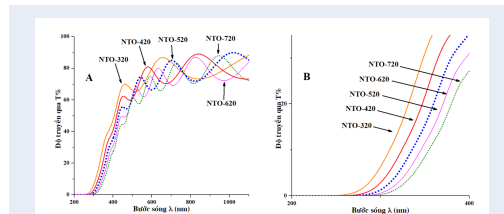
Trong đó, hệ số K được gọi là hệ số hình dạng và được xác định là 0,9, bước sóng của tia CuK α_1 (0,154056 nm), β là độ bán rộng cực đại, góc nhiễu xạ Bragg và d là kích thước tinh thể. Kết quả **Hình 1b** cho thấy kích thước tinh thể (d) của màng NTO tăng theo bề dày và đạt giá trị lớn nhất đối với màng NTO – 620. Tóm lại, kết quả nghiên cứu giản đồ nhiễu xạ tia X cho thấy chất lượng tinh thể của màng NTO tăng khi bề dày của màng tăng.



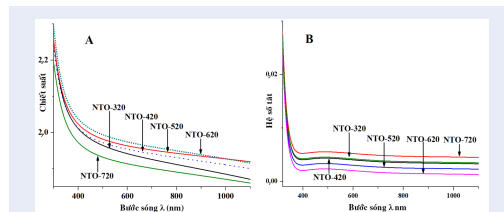
Hình 1: a) Giản đồ nhiễu xạ tia X và b) độ bán rộng và kích thước tinh thể của các màng NTO – x (x = 320, 420, 520, 620 và 720) lắng đọng ở nhiệt độ để 300°C.

Ảnh hưởng của bề dày đến tính chất quang của màng NTO được nghiên cứu, phổ truyền qua UV-Vis của các màng NTO được trình bày ở **Hình 2**. Kết quả cho

thấy tất cả các màng có độ truyền qua trung bình trên 80% trong vùng ánh sáng khả kiến và hồng ngoại gần, bên cạnh phổ truyền qua cũng cho thấy sự thay đổi khi bề dày của màng tăng. **Hình 2b** cho thấy rõ sự dịch bờ hấp thụ về vùng bước sóng dài khi bề dày của màng tăng.



Hình 2: Phổ truyền qua UV-Vis trong vùng bước sóng a) 200 nm – 1100 nm và b) 200 nm – 400 nm của các màng NTO – x (x = 320, 420, 520, 620 và 720) lắng đọng ở nhiệt độ để 300°C.



Hình 3: a) Chiết suất và b) hệ số tắt của các màng NTO – x (x = 320, 420, 520, 620 và 720) lắng đọng ở nhiệt độ để 300°C.

Kết quả phổ truyền qua UV-Vis cũng được sử dụng để xác định các hằng số quang học như chiết suất (n), hệ số tắt và bề dày của màng NTO. Phần mềm SCOUT 98 sử dụng các dữ liệu thực nghiệm từ phổ truyền qua quang học để làm khớp với mô hình mô phỏng. Trong đó, các mô hình mô phỏng dựa trên nền tảng lý thuyết Drude, O’Leary-Johnson-Lim (OJL) để xác định các hằng số quang học của màng NTO¹⁶. **Hình 3** trình bày phổ chiết suất n và hệ số tắt k trong vùng bước sóng 300 nm – 1100 nm. Kết quả cho thấy giá trị chiết suất và hệ số tắt của tất cả các màng giảm trong vùng bước sóng 300 nm – 400 nm và thay đổi không đáng kể trong vùng bước sóng dài. Kết quả cũng cho thấy chiết suất của các màng NTO – 620, 520 và 420 gần xấp xỉ và giá trị lớn hơn so với các màng NTO 320 và 720, trong khi đó hệ số tắt quy luật ngược lại. Sự thay đổi các hằng số quang học như chiết suất và hệ số tắt được giải thích do chất lượng tinh thể của màng tăng khi bề dày của màng tăng như đã được đề cập ở phần

trên. Nghĩa là khi chất lượng tinh thể của màng được cải thiện sẽ ảnh hưởng đến các thông số như bậc tinh thể và mật độ xếp chặt của màng tăng đồng thời các sai hỏng bên cạnh tâm hấp thụ trong màng giảm. Vì vậy, chiết suất của màng NTO tăng và hệ số tắt giảm tương ứng với bề dày tăng, hiện tượng này cũng được quan sát ở công trình Dang *et al.*¹⁶. Thật vậy, cấu trúc của màng NTO – 620 có tinh thể tốt nhất tương ứng với giá trị chiết suất ở 550 nm lớn nhất và hệ số tắt nhỏ nhất là 1,9827 và 0,0022.

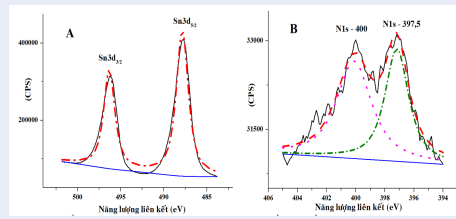
Các thông số tính chất điện như điện trở suất, độ linh động và nồng độ hạt tải của các màng NTO – x được xác định bằng phép đo Hall, kết quả được trình bày ở **Bảng 1**. **Bảng 1** cho kết quả tất cả màng NTO – x đều cho tính chất điện loại p với độ linh động tăng theo bề dày, ngoại trừ màng NTO – 720. Độ linh động của màng NTO tăng theo quy luật bề dày do độ tinh thể của màng và kích thước tinh thể tăng dẫn đến tán xạ giữa biên hạt giảm. Kết quả màng NTO - 620 dẫn điện tốt nhất với thông số điện trở suất, độ linh động và nồng độ hạt tải tương ứng là 0,03 Ωcm, 14,95 cm²V⁻¹s⁻¹ và 1,39 × 10¹⁹cm⁻³.

Bảng 1: Kết quả phép đo Hall của của các màng NTO – x (x = 320, 420, 520, 620 và 720) lắng đọng ở nhiệt độ để 300°C

Tên mẫu	$\rho(\Omega\text{cm})$	$\mu(\text{cm}^2\text{V}^{-1})$	$n/p(\text{cm}^{-3})$	Loại hạt tải
NTO – 320	0,10	6,75	$9,61 \times 10^{18}$	p
NTO – 420	0,07	7,25	$1,23 \times 10^{19}$	p
NTO – 520	0,05	9,95	$1,25 \times 10^{19}$	p
NTO – 620	0,03	14,95	$1,39 \times 10^{19}$	p
NTO – 720	0,09	4,95	$1,40 \times 10^{19}$	p

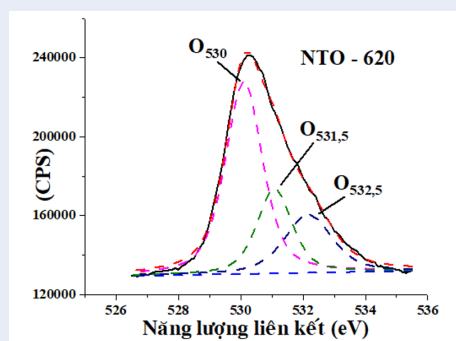
Trạng thái hóa học của các nguyên tố N, Sn và O được quan sát bởi các đỉnh năng lượng N1s, Sn3d và O1s được sử dụng để kiểm định sự thay thế O²⁻ bởi N³⁻ (No). Các đỉnh năng lượng liên kết được xử lý bằng phần mềm XPSPEAK 4.1 và được hiệu chuẩn theo đỉnh C1s (284,8 eV) do hiện tượng tích tụ điện tích trên bề mặt của màng.

Hình 4 trình bày phổ XPS của màng NTO được lắng đọng ở 300°C trong hỗn hợp khí phún xạ Ar và 50% N₂ ở bề dày 620 nm. Kết quả cho thấy lõi năng lượng liên kết N1s thấy xuất hiện 2 đỉnh, một đỉnh ở vị trí 397,5 eV, được xác định là liên kết hóa học giữa Sn



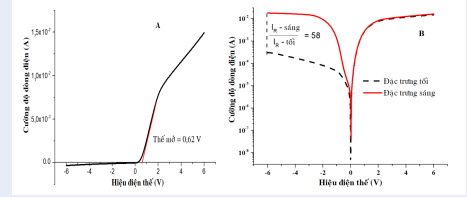
Hình 4: Phổ XPS các đỉnh a) Sn3d và b) Ni1s (đường liền) và kết quả mô phỏng (đường đứt nét) của màng NTO – 620.

và N như đã được đề cập trong công trình Nguyen *et al.*²² và được ký hiệu No. Sự xuất hiện của đỉnh liên kết này chứng tỏ sự thay thế N^{3-} ở vị trí O^{2-} xảy ra. Đỉnh năng lượng còn lại ở 400 eV do sự đóng góp của các liên kết hóa học Sn – N – O hay Sn – O – N và được ký hiệu là Ni. Ngoài ra, phổ XPS của Sn3d (**Hình 4a**) cho thấy xuất hiện đỉnh đôi lần lượt ở vị trí 487,6 eV và 496,1 eV, tương ứng với trạng thái $Sn3d_{5/2}$ và $Sn3d_{3/2}$. Sự chênh lệch năng lượng giữa hai đỉnh $Sn3d_{5/2}$ và $Sn3d_{3/2}$ là 8,5 eV, kết quả chỉ ra rằng trạng thái hóa trị của thiếc tồn tại trong màng 4+ như được tham khảo trong phổ chuẩn²². Bên cạnh trạng thái hóa học của N và Sn, trạng thái hóa học của O được xác định bởi đỉnh năng lượng O1s bao gồm các đỉnh thành phần ở 530 eV (được xem là oxy liên kết trong mạng chủ SnO_2), 531,5 eV (được xem là khuyết oxy) và 532,5 eV (được xem là oxy hấp phụ) (**Hình 5**). Từ các kết quả trên, phần trăm nguyên tử tồn tại trong màng được xác định bằng tỷ số diện tích tích phân của từng đỉnh trên tổng số các đỉnh. Kết quả thu được, phần trăm No tồn tại trong màng chiếm 1,8%, còn phần trăm nguyên tử Sn, O₅₃₀, O_{531,5} và Ni lần lượt là 78,08%, 11,70%, 8,06% và 0,3%.



Hình 5: Phổ XPS các đỉnh O1s của màng NTO – 620.

Để kiểm chứng tính chất điện loại p, bên cạnh kiểm định khả năng ứng dụng làm cảm biến quang học của



Hình 6: Đặc trưng I-V a) màng NTO – 620 ở điều kiện không chiếu sáng b) màng NTO – 620 ở điều kiện chiếu sáng và không chiếu sáng biểu diễn dưới dạng đồ thị LogI-V.

màng NTO – 620, màng NTO – 620 được chế tạo trên đế Si thương mại (điện trở suất và nồng độ hạt tải $1 - 5 \Omega\text{cm}$ và $1 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$). Đặc trưng I – V của cấu trúc p – NTO – 620/ n – Si khảo sát ở điều kiện không chiếu sáng (tối) được trình bày ở Hình 6a thể hiện đặc trưng chỉnh lưu của diode. Cấu trúc tiếp xúc này cho kết quả thế ngưỡng là 0,62 V và cường độ dòng rò ở - 6V là $3,04 \times 10^{-4} \text{A}$. Đồ thị semilog (log I – V) cho thấy tỷ số cường độ dòng nghịch sáng và tối của màng NTO – 620 đạt 58 ở - 6 V (**Hình 6b**). Ngoài ra, cường độ dòng phân cực thuận cao hơn cường độ dòng thuận tối chứng tỏ vùng nghèo cũng tồn tại bên màng NTO – 620, khẳng định màng NTO – 620 dẫn loại p. Kết quả này phù hợp với phép đo XPS, Hall đã trình bày phần trước.

KẾT LUẬN

Trong công trình này đã nghiên cứu ảnh hưởng của bề dày đến cấu trúc tinh thể, tính chất quang và điện của màng NTO – x ($x = 320, 420, 520, 620$ và 720). Kết quả thu được khi bề dày màng NTO tăng cho chất lượng tinh thể tốt hơn và kích thước tinh thể của màng tăng. Bên cạnh đó, khi chất lượng tinh thể màng tăng các thông số quang học và giá trị độ linh động của hạt tải cũng được cải thiện. Cụ thể, màng NTO ở bề dày 620 nm có cấu trúc tinh thể tốt nhất và các giá trị như kích thước tinh thể, chiết suất và độ linh động hạt tải lớn nhất cũng như hệ số tắt nhỏ nhất. Ngoài ra, các màng NTO đều có cấu trúc cubic với mặt ưu tiên là (111). Kết quả giá trị tối ưu điện trở suất, nồng độ hạt tải và độ linh động của màng NTO – 620 lần lượt là 0,03 Ωcm , $14,95 \text{cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$ và $1,39 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$. Tính chất điện loại p của màng được khẳng định bằng kết quả phổ XPS và đặc trưng I-V của màng NTO – 620. Trong đó, màng loại p NTO – 620 được chế tạo trên đế loại n Si cho tỷ số dòng phân cực nghịch khi chiếu sáng và không chiếu sáng 58 lần ở - 6V, kết quả này cho thấy màng loại p NTO hứa hẹn trong tương lai được sử dụng làm cảm biến quang học.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Phát triển khoa học và công nghệ Quốc gia (NAFOSTED) trong đề tài mã số 103.03-2017.302.

DANH MỤC CÁC TỪ VIẾT TẮT

DC: dòng điện một chiều
NTO: màng SnO₂ pha tạp N
XPS: phổ quang điện tử tia X
XRD: nhiễu xạ tia X
TCOs: màng dẫn điện trong suốt
LEDs: diode phát quang
ITO: màng In₂O₃ pha tạp Sn
Vo: khuyết oxy
UV-Vis: vùng ánh sáng cực tím – khả kiến
AM: Air Mass (trọng lượng khí quyển)
OJL: O' Leary-Johnson-Lim

XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

Tất cả tác giả tuyên bố không có xung đột lợi ích trong công trình này.

ĐÓNG GÓP CỦA CÁC TÁC GIẢ

Các tác giả có đóng góp như nhau trong bài báo này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Wang Z, Nayak PK, Caraveo-Frescas JA, Alshareef HN. Recent developments in p-type oxide semiconductor materials and devices. *Adv Mater.* 2016;28:3831–3892.
2. Fortunato E, Ginley D, Hosono H, Paine DC. Transparent conducting oxides for photovoltaics. *MRS Bull.* 2007;32:242–247.
3. Li MH, Yum JH, Moon SJ, Chen P. Inorganic p-type semiconductors: their applications and progress in dye-sensitized solar cells and perovskite solar cells. *Energies.* 2016;9:331.
4. Liu H, Zhou ZJ, Zhang PP, Tian QW, Zhou WH, Kou DX, et al. p-type Li, Cu codoped NiOx hole-transporting layer for efficient planar perovskite solar cells. *Optic Express.* 2016;24:A1349.
5. Harvey SP, Mason TO, Gassenbauer Y, Schafranek R, Klein A. Surface versus bulk electronic/defect structures of transparent conducting oxides: I. Indium oxide and ITO. *J Phys Appl Phys.* 2006;39:3959–3968.
6. Patel KH, Rawal SK. Influence of power and temperature on properties of sputtered AZO films. *Thin Solid Films.* 2016;620:182–187.

7. Hosono H. Recent progress in transparent oxide semiconductors: materials and device application. *Thin Solid Films.* 2007;515:6000–6014.
8. Kim H, Auyeung RY, Piqué A. Transparent conducting F-doped SnO₂ thin films grown by pulsed laser deposition. *Thin Solid Films.* 2008;516:5052–5056.
9. Yanagi H, Inoue S, Ueda K, Kawazoe H, Hosono H, Hamada N. Electronic structure and optoelectronic properties of transparent p-type conducting CuAlO₂. *J Appl Phys.* 2000;88:4159.
10. Wang J, Daunis TB, Cheng L, Zhang B, Kim J, Hsu JWP. Combustion synthesis of p-type transparent conducting CuCrO_{2+x} and Cu:CrOx thin films at 180 °C. *ACS Appl Mater Interfaces.* 2018;10:3732–3738.
11. Zhang KHL, Du Y, Papadogianni A, Bierwagen O, Sallis S, Piper LFJ, et al. Perovskite Sr-doped LaCrO₃ as a new p-type transparent conducting oxide. *Adv Mater.* 2015;27:5191–5195.
12. Xiu FX, Yang Z, Mandalapu LJ, Liu JL, Beyermann WP. p-type ZnO films with solid-source phosphorus doping by molecular-beam epitaxy. *Appl Phys Lett.* 2006;88: 052106.
13. Rommelure JF, Svob L, Jomard F, Mimila-Arroyo J, Lusson A, Sallet V, et al. Electrical activity of nitrogen acceptors in ZnO films grown by metalorganic vapor phase epitaxy. *Appl Phys Lett.* 2003;83:287–289.
14. Feng TH, Xia XC. Characteristics of doping controllable ZnO films grown by photo-assisted metal organic chemical vapor deposition. *Opt Mater Express.* 2017;7:1281.
15. Ravichandran K, Thirumurugan K. Type inversion and certain physical properties of spray pyrolyzed SnO₂:Al films for novel transparent electronics applications. *J Mater Sci Technol.* 2014;30:97–102.
16. Dang HP, Luc QH, Le VH, Le T. The influence of deposition temperature and annealing temperature on Ga-doped SnO₂ films prepared by direct current magnetron sputtering. *J Alloy Comp.* 2016;687:1012–1020.
17. Ni J, Zhao X, Zhao J. P-type transparent conducting SnO₂:Zn film derived from thermal diffusion of Zn/SnO₂/Zn multilayer thin films. *Surf Coating Technol.* 2012;206:4356–4361.
18. Zhang B, Tian Y, Zhang JX, Cai W. The structural and electrical studies on the Boron-doped SnO₂ films deposited by spray pyrolysis. *Vacuum.* 2011;85:986–989.
19. Le T, Dang HP, Le VH. Determination of the optimum annealing temperature and time for Indium-doped SnO₂ films to achieve the best p-type conductive property. *J Alloy Comp.* 2017;696:1314–1322.
20. Fang, et al. Electrical and optical properties of nitrogen doped. *Mater Res Bull.* 2015;68:240–244.
21. Pan SS, Zhang YX, Teng XM, Li GH, Li L. Optical properties of nitrogen-doped SnO₂ films: effect of the electronegativity on refractive index and band gap. *J Appl Phys.* 2008;103:93103.
22. Nguyen TT, Dang HP, Luc QH, Le T. Studying the influence of deposition temperature and nitrogen contents on the structural, optical, and electrical properties of N-doped SnO₂ films prepared by direct current magnetron sputtering. *Ceramics International.* 2019;45:9147–9156.

Influence of thickness on the structure and electrical, optical properties of N-doped SnO₂ film

Nguyen Thanh Tung¹, Dang Huu Phuc², Le Tran^{3,*}



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

ABSTRACT

N-doped SnO₂ films with varying thickness (320, 420, 520, 620, and 720 nm) were deposited at 300°C in mixed – gas sputtering Ar/N (1:1) using DC magnetron sputtering. Influence of thickness on structure, optical constants (refractive index or extinction coefficient), and electrical properties were investigated by methods such as X-ray diffraction, Uv-Vis spectra, and Hall measurement. The results show that crystalline quality and optical constants improve with increasing thickness. Specifically, NTO – 620 film has the best crystal structure and maximum values such as crystal size, refractive index, and carrier mobility, as well as the lowest extinction coefficient. Also, NTO films have a cubic structure with (111) peak as the preferred peak. Besides, the hole mobility increases with the increase of the thickness and reaches the maximum value of 14.95 cm²V⁻¹s⁻¹ for NTO – 620 films. The electrical properties of p-type NTO films were verified by X-ray electron spectroscopy (XPS) and I-V characteristic of p – NTO/n – Si heterojunction under illumination. P-type NTO – 620 films were fabricated on n-type Si substrate had a light-to-dark current ratio of 58 at -6V, these results showed that p-type NTO films might have a promising future in optical sensors applications.

Key words: DC magnetron sputtering, p-SnO₂:N/n-Si heterojunction, XRD, I-V characteristi

¹Faculty of Fundamental Science, Thu Dau Mot University, 6 Tran Van On Street, Phu Hoa, Thu Dau Mot, Binh Duong, Vietnam

²Faculty of Fundamental Science, Industrial University of Ho Chi Minh City, 12 Nguyen Van Bao Street, Ward 4, Go Vap, Ho Chi Minh, Vietnam

³Faculty of Physics & Engineering Physics, University of Science, Vietnam National University Ho Chi Minh City, 227 Nguyen Van Cu St., Ward 4, District 5, Ho Chi Minh City, Vietnam

Correspondence

Le Tran, Faculty of Physics & Engineering Physics, University of Science, Vietnam National University Ho Chi Minh City, 227 Nguyen Van Cu St., Ward 4, District 5, Ho Chi Minh City, Vietnam

Email: ltran@hcmus.edu.vn

History

- Received: 27-9-2019
- Accepted: 01-11-2019
- Published: 31-12-2019

DOI : 10.32508/stdjet.v2i4.604



Cite this article : Thanh Tung N, Huu Phuc D, Tran L. **Influence of thickness on the structure and electrical, optical properties of N-doped SnO₂ film** . *Sci. Tech. Dev. J. – Engineering and Technology*; 2(4):240-245.