

Ảnh hưởng pha tạp N đến tính chất cảm biến quang của cấu trúc dị thể p-SnO₂ đồng pha tạp Zn và N/ n-Si

Lê Trần¹, Đặng Hữu Phúc^{2,*}



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

TÓM TẮT

Công trình này nghiên cứu ảnh hưởng của đồng pha tạp Zn và N đến cấu trúc tinh thể, tính chất điện và hiệu ứng quang điện của cấu trúc dị thể p-SnO₂:Zn-N/n-Si. Các màng SnO₂ đồng pha tạp Zn và N (ZNTO) được lắng đọng trên đế silic loại n ở 300°C trong hỗn hợp khí phun xạ Ar/N₂ khác nhau (%N = 0%, 30%, 50%, 60%, 70% và 80%) từ bia SnO₂ chứa pha tạp 5 wt % ZnO bằng phương pháp phun xạ magnetron DC. Cấu trúc tinh thể, hình thái bề mặt, thành phần hóa học, tính chất điện và hiệu ứng quang điện của màng ZNTO được khảo sát bằng các phép đo như nhiễu xạ tia X, FESEM, AFM, EDS, Hall và I-V. Kết quả thu được cho thấy tất cả các màng đều có cấu trúc tứ giác rutile và mặt SnO₂ (101) là mặt trội ở điều kiện chế tạo tối ưu nhất 70% N₂. Sự thay thế Sn⁴⁺ bởi Zn²⁺ hay O²⁻ bởi N³⁻ được chứng minh bởi giản đồ nhiễu xạ tia X (XRD), phổ tán xạ năng lượng tia X (EDS). Điện trở suất thấp nhất đối với màng ZNTO-5-70 là $\rho = 6,50 \times 10^{-2} \Omega \cdot \text{cm}$, tương ứng nồng độ hạt tải $n = 1,46 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ và $\mu = 6,52 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$. Đặc trưng I-V của cấu trúc p-ZNTO-5-y/n-Si ở điều kiện chiếu sáng cho thấy tính chất điện loại p của các màng ZNTO-5-y và khả năng ứng dụng làm cảm biến quang. Ngoài ra, đặc trưng dòng đáp ứng quang của các màng ZNTO-5-y có độ nhạy cao và lặp lại tốt.

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

GIỚI THIỆU

Cảm biến quang tia cực tím (UV) là thiết bị được sử dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực dân sự như giám sát môi trường, ảnh quang học, cảm biến lửa, điều khiển từ xa và thông tin truyền thông hay quân sự. Tia UV có bước sóng từ 100 – 400 nm bao gồm UV-A (315–400 nm), UV-B (280–315 nm) và UV-C (100–280 nm), trong đó tia UV-A và UV-B được hấp thụ ở tầng khí quyển¹. Tuy nhiên, do tầng ozon bị phá hủy nên ánh sáng mặt trời có thể tàn phá mùa màng và ảnh hưởng sức khỏe (gia tăng bệnh ung thư). Vì vậy, lĩnh vực chế tạo thiết bị phát hiện tia UV từ ánh sáng mặt trời thu hút rất nhiều nhà khoa học. Cấu trúc cảm biến quang tia UV được quan tâm nghiên cứu như quang dẫn, kim loại – bán dẫn – kim loại (MSM), diode Schottky, tiếp xúc p-n...². Trong đó, cấu trúc kim loại – bán dẫn – kim loại sở hữu những ưu điểm như số lượng photon quang sinh, hồi đáp lớn, độ lặp lại và dễ chế tạo. Tuy nhiên, cấu trúc này gặp hạn chế về tỷ số giữa dòng quang sinh và dòng tối thấp, hiệu suất hoạt động bị giới hạn do tồn tại sai hỏng và bẫy trong vật liệu³. Cấu trúc cảm biến quang Schottky có nhiều ưu điểm so với cấu trúc quang dẫn và MSM về hiệu suất lượng tử cao, tốc độ phản hồi cao, dòng rò ở điều kiện không chiếu sáng thấp và hoạt động ở điện

áp 0V³. Đặc biệt, cảm biến quang cấu trúc tiếp giáp p-n có ưu điểm vượt trội như tốc độ phản hồi nhanh, dòng điện tối thấp và có thể hoạt động mà không cần điện áp³. Do đó, cấu trúc diode quang p-n hay p-i-n là lựa chọn phù hợp nhất cho ứng dụng cảm biến quang trong tương lai. Vật liệu bán dẫn cảm biến tia UV đã được nghiên cứu là vật liệu bán dẫn có độ rộng vùng cấm lớn như ZnO, GaN, TiO₂, SiC, kim cương hay SnO₂⁴. Trong đó, SnO₂ sở hữu nhiều ưu điểm hơn so với các vật liệu khác như thân thiện với môi trường, độ bền hóa và nhiệt, năng lượng liên kết exciton lớn 130 meV⁵. Tuy nhiên, một trong những thách thức lớn đối với các thiết bị quang điện tử dựa trên nền vật liệu SnO₂ là sự thiếu hụt SnO₂ loại p. SnO₂ không pha tạp cho thấy sự dẫn điện loại n do sự tồn tại của sai hỏng như thiếu nằm ngoài nút hay khuyết oxy, do đó, hiện tượng bù điện tích giữa acceptor tạp kim loại với khuyết oxy có thể xảy ra⁶. Vì lý do này, đa số các công trình về thiết bị quang điện tử nền SnO₂ đã được nghiên cứu bằng cách chế tạo tiếp xúc dị thể giữa SnO₂ loại n với các vật liệu loại p khác. Đã có rất nhiều nỗ lực trong việc chế tạo SnO₂ loại p bằng cách pha tạp các nguyên tố đơn chất kim loại nhóm III, II, chẳng hạn như Ga, In, Sb, Zn⁶⁻¹¹, phi kim N^{12,13}. Đặc biệt, các công trình nghiên cứu đồng pha tạp của các kim loại (Al, In, Ga) và N¹⁴⁻¹⁷ hay hai kim loại Ga và In¹⁸ để

¹Khoa Vật Lý – Vật Lý Kỹ Thuật, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG-HCM, Việt Nam

²Khoa Khoa học cơ bản, Trường Đại học Công nghiệp Tp. HCM, Việt Nam

Liên hệ

Đặng Hữu Phúc, Khoa Khoa học cơ bản, Trường Đại học Công nghiệp Tp. HCM, Việt Nam

Email: danghuuphuc@iuh.edu.vn

Lịch sử

- Ngày nhận: 09-12-2020
- Ngày chấp nhận: 12-03-2021
- Ngày đăng: 30-04-2021

DOI: 10.32508/stdjns.v5i2.980



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.



Trích dẫn bài báo này: Trần L, Phúc D H. Ảnh hưởng pha tạp N đến tính chất cảm biến quang của cấu trúc dị thể p-SnO₂ đồng pha tạp Zn và N/ n-Si. *Sci. Tech. Dev. J. - Nat. Sci.*; 5(2):1157-1166.

cải thiện tính chất điện của màng loại p SnO₂. Tuy nhiên, vẫn chưa có công trình nào đề cập đến màng loại p SnO₂ đồng pha tạp kim loại nhóm II như Zn²⁺ với N₂ (ZNTO). Bên cạnh đó, tạp kim loại Zn có ưu điểm là bán kính nguyên tử gần xấp xỉ với Sn trong mạng chủ vì vậy hiện tượng lệch mạng ít xảy ra. Công trình này nghiên cứu ảnh hưởng của phần trăm pha tạp N₂ đến cấu trúc, hình thái bề mặt, tính chất điện và hiệu ứng quang điện của cấu trúc p-ZNTO/n-Si.

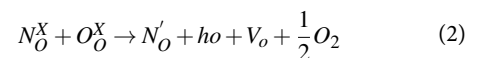
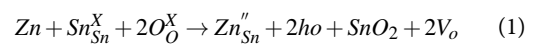
VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

Màng SnO₂ đồng pha tạp Zn và N (ZNTO) được lắng đọng trên đế n-Si bằng phương pháp phun xạ magnetron dòng 1 chiều (DC) từ bia gốm chứa hỗn hợp 95% wt SnO₂ và 5% wt ZnO, trong môi trường Ar/N₂ với các tỷ lệ khác nhau (%N = 0%, 30%, 50%, 60%, 70% và 80%) ở nhiệt độ lắng đọng 300°C. Các màng được lắng đọng trong môi trường tỷ lệ Ar/N₂ khác nhau được ký hiệu là ZNTO-5-y (Bảng 1). Đế Si được xử lý theo quy trình: đầu tiên ngâm trong dung dịch NaOH 10% và acetone để loại bỏ tạp chất, sau đó lần lượt ngâm trong dung dịch Piranha (4:1 H₂SO₄/H₂O₂) và flohydric acid (HF). Bước cuối cùng rửa lại bằng nước cất và sấy khô trước khi được đưa vào buồng chân không. Bề mặt bia được tẩy sạch bằng cách phóng điện plasma trong thời gian 15 phút ở môi trường khí argon với áp suất khoảng 10⁻³ Torr trước khi chế tạo màng. Áp suất khí nền ban đầu và tạo màng lần lượt là 10⁻⁵ torr và 3 x 10⁻³ Torr. Thông số chế tạo như công suất phun xạ và khoảng cách giữa bia và đế được giữ cố định 15 W và 7 cm. Tất cả các màng được khảo sát bằng các phép đo nhiễu xạ tia X (XRD) (D8-ADVANCE), kính hiển vi hiệu ứng trường (FESEM), phổ lực AFM, phổ tán xạ năng lượng tia X (EDS) và phép đo Hall (HMS3000) để phân tích cấu trúc tinh thể, hình thái bề mặt, thành phần hóa học và tính chất điện. Hiệu ứng quang điện của cấu trúc tiếp xúc dị thể p-ZNTO-5-y/n-Si được khảo sát bằng đặc trưng I-V (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

Kết quả Hình 1 cho thấy tất cả các màng ZNTO-5-y đều có cấu trúc tứ giác rutile (JCPDS No. 41-1445) với mặt SnO₂ (110), (101) và (211). Sự xuất hiện của mặt SnO₂ (101) và (211) đối với màng ZNTO-5-0 chứng tỏ sự thay thế Sn⁴⁺ bởi Zn²⁺ như đã được quan sát ở công trình⁹. Công trình⁹ cho thấy mặt SnO₂ (101) là mặt khử chứa nhiều ion Sn²⁺ và mặt này xuất hiện do sự thay thế Zn²⁺ ở vị trí Sn⁴⁺ sẽ hình thành vị

trí khuyết Vo lân cận tương ứng với nhiều vị trí Sn²⁺ trong mạng chủ SnO₂. Bên cạnh đó, cường độ của mặt SnO₂ (101) tăng theo phần trăm N₂ trong hỗn hợp khí phun xạ và kèm theo sự xuất hiện của pha trung gian Sn₂O₃ (030) (JCPDS No. 25-1259), xác nhận quá trình thay thế O²⁻ bởi N³⁻ như được đề cập trong công trình¹². Pha Sn₂O₃ là pha trung gian giữa pha SnO và SnO₂ do sự xuất hiện của vị trí Sn²⁺ thay vì Sn⁴⁺ trong mạng chủ xảy ra trong quá trình thay thế⁶. Trong công trình này, các sự thay thế nêu trên là giữa Sn⁴⁺ bởi Zn²⁺ hay O²⁻ bởi N³⁻ và được thể hiện qua phương trình khuyết (1) và (2). Tuy nhiên, sự hòa tan N₂ trong mạng quá nhiều dẫn đến suy giảm chất lượng tinh thể, kết quả này xảy ra đối với màng ZNTO-5-80.



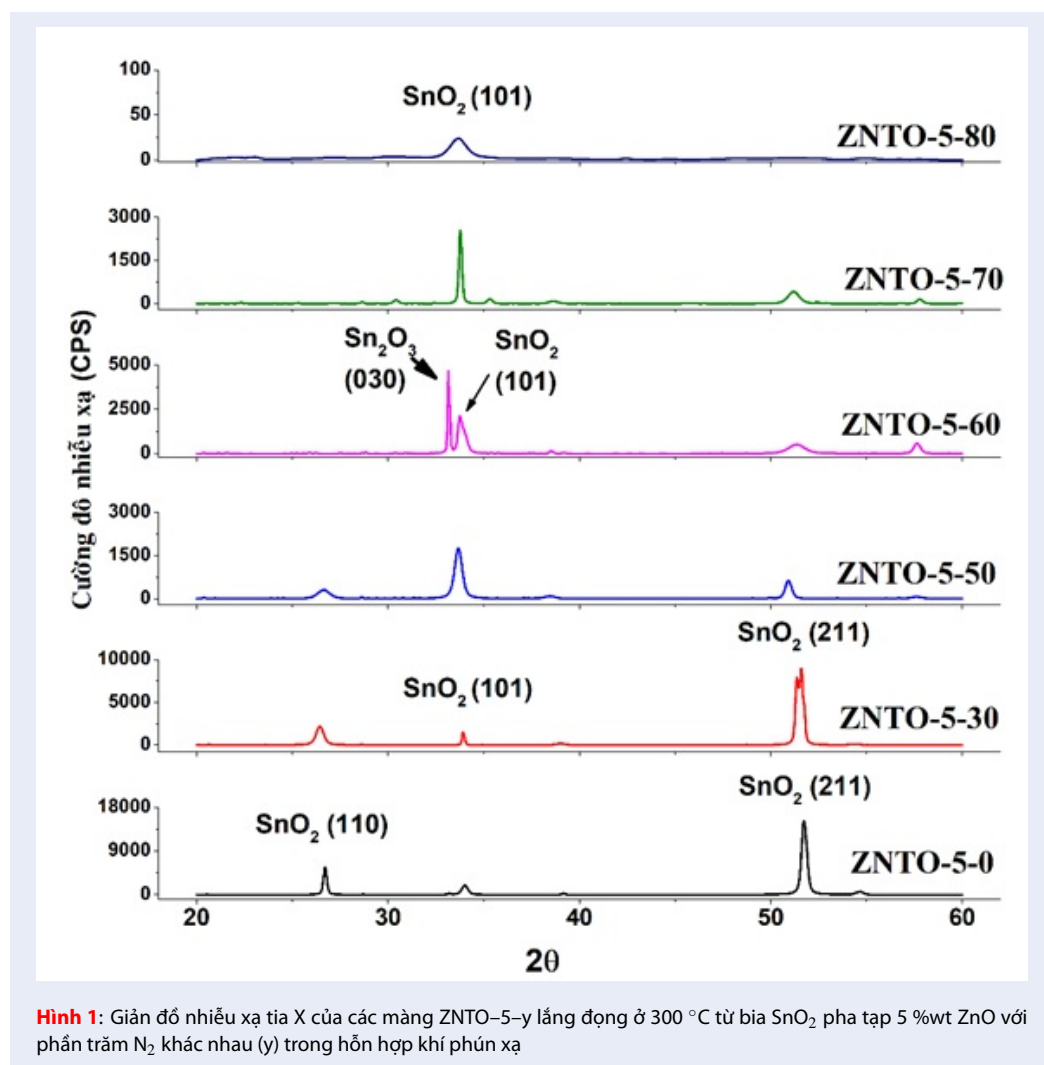
Trong đó, ký hiệu Sn_{Sn}^X và O_O^X lần lượt là Sn và O ở vị trí nút mạng. V_o được ký hiệu khuyết tật oxygen.

Ảnh FESEM bề mặt của các màng ZNTO-5-y được lắng đọng từ các phần trăm N₂ khác nhau được trình bày ở Hình 2. Kết quả cho thấy cho thấy các hạt có hình đa diện với kích thước hạt lớn và nhỏ xen kẽ nhau đối với màng ZNTO-5-0. Ngoài ra, hình dạng hạt của các màng ZNTO pha tạp 30, 50 và 60% N₂ rất khó xác định và các hạt lớn và nhỏ nằm xen kẽ nhau. Đặc biệt, hạt trở nên đồng đều và kích thước hạt lớn hơn ở màng ZNTO-5-70 so với các màng có phần trăm N₂ thấp hơn nhưng vẫn còn lẫn các hạt nhỏ. Kích thước hạt đều và lớn nhất đối với màng ZNTO pha tạp 70% N₂, điều này là do sự cân bằng giữa lực hút của các acceptor Zn²⁺-N³⁻ và lực đẩy của N³⁻-N³⁻¹⁹. Sự chênh lệch giữa các lực này kết quả là sai hỏng nội tinh thể dẫn đến kích thước hạt giảm ở màng ZNTO-5-80.

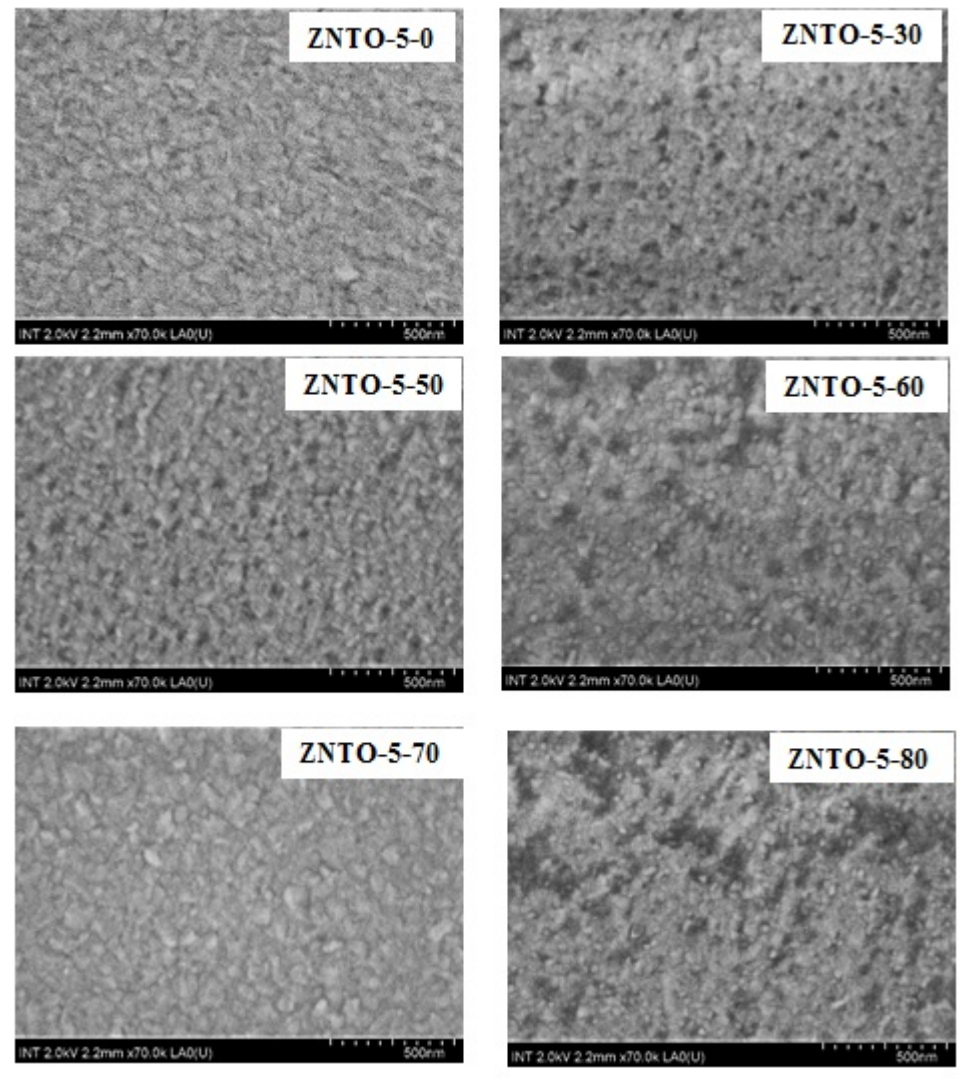
Hình 3 trình bày ảnh AFM của các màng ZNTO-5-y lắng đọng ở 300°C từ bia SnO₂ pha tạp 5% wt ZnO với phần trăm N₂ khác nhau (y) trong hỗn hợp khí phun xạ. Kết quả thu được cho thấy ảnh hưởng của N đến giá trị độ gồ ghề hình thái bề mặt của các màng. Trong đó, độ gồ ghề của màng giảm đột ngột khi lượng nhỏ N thay thế O trong mạng chủ SnO₂ đối với màng ZNTO-5-30 (RMS = 0,648 nm) và đạt giá trị lớn nhất đối với màng ZNTO-5-70 (RMS = 1,081 nm). Kết quả này phù hợp với kết quả và giải thích ảnh FESEM bề mặt của các màng đã được đề cập ở phần trên về sự cân bằng lực tương tác tĩnh điện giữa các cặp acceptor Zn²⁺-N³⁻ và N³⁻-N³⁻ ảnh hưởng đến kích thước hạt.

Bảng 1: Mẫu lắng đọng ở 300°C trong hỗn hợp khí phun xạ Ar và y % N₂ từ bia SnO₂ chứa 5% wt ZnO pha tạp và được ký hiệu ZNTO-5-y.

Mẫu	%Ar trong hỗn hợp khí phun xạ	%N ₂ trong hỗn hợp khí phun xạ
ZNTO-5-0	100	0
ZNTO-5-30	70	30
ZNTO-5-50	50	50
ZNTO-5-60	40	60
ZNTO-5-70	30	70
ZNTO-5-80	20	80



Hình 1: Giản đồ nhiễu xạ tia X của các màng ZNTO-5-y lắng đọng ở 300 °C từ bia SnO₂ pha tạp 5 %wt ZnO với phần trăm N₂ khác nhau (y) trong hỗn hợp khí phun xạ

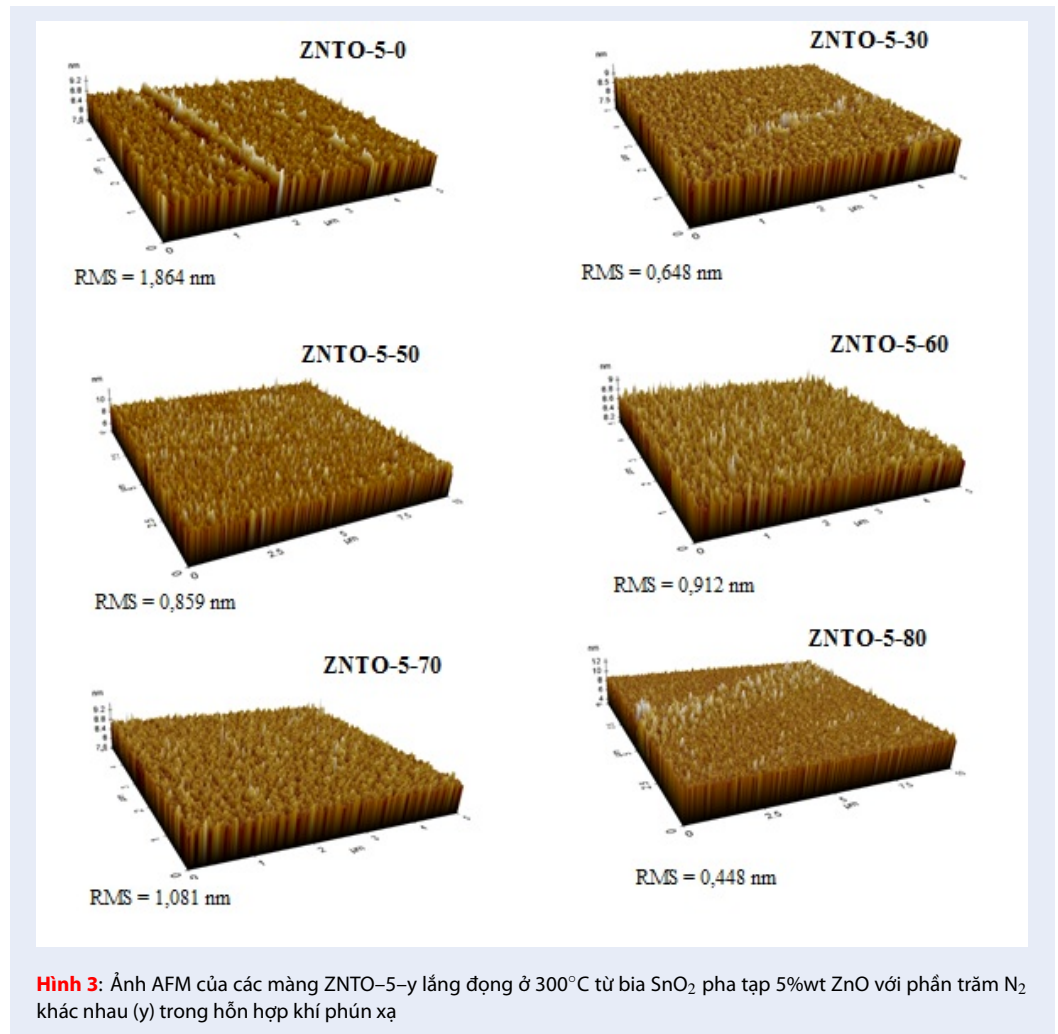


Hình 2: Ảnh FESEM của các màng ZnTO-5-y lắng đọng ở 300°C từ bia SnO₂ pha tạp 5 %wt ZnO với phần trăm N₂ khác nhau (y) trong hỗn hợp khí phun xạ

Thành phần các nguyên tố tồn tại trong các màng ZnTO-5-y được khảo sát bằng phương pháp tán xạ năng lượng tia X (EDX) và được trình bày ở Hình 4. Hình 4 cho thấy các đỉnh đặc trưng khác nhau của các nguyên tố N, O và Zn trong màng ZnTO, trong đó, đỉnh đặc trưng duy nhất của N(O) là K α 1 và của Zn là L α 1. Kết quả của sự xuất hiện đỉnh K α 1 và L α 1 do tia phát xạ được tạo bởi sự chênh lệch năng lượng giữa hai lớp vỏ N (O) K α 1 hay Zn L α 1. Quá trình chiếu chùm tia kích thích lên mẫu làm giải phóng ra một electron từ lớp vỏ trong cùng của nguyên tử (lớp K đối với nguyên tử N (O) và lớp L đối với nguyên tử Zn) và để lại vị trí trống, khi đó electron từ lớp vỏ ngoài lấp đầy vị trí đó. Nguyên tố Sn được xác định

bởi hai đỉnh đặc trưng chính là Sn L α 1 và Sn L β 1 và ba đỉnh đặc trưng phụ là Sn L β 2, Sn L γ 1 và Sn L γ 3, với thành phần L cho biết lớp vỏ nguyên tử đã bị ion hóa và α , β , γ biểu thị cường độ tương đối của vạch bên trong mỗi lớp vỏ.

Thành phần phần trăm của các nguyên tố trong các màng ZnTO-5-y được trình bày ở Bảng 2. Kết quả cho thấy có sự thay đổi rõ rệt thành phần phần trăm của nguyên tố O và N có trong màng ZnTO khi thay đổi phần trăm N₂ trong hỗn hợp khí phun xạ. Phần trăm của N trong màng tăng tương ứng với phần trăm khí N₂ trong hỗn hợp khí phun xạ tăng, đồng thời phần trăm O trong màng giảm chứng tỏ sự thay thế của N cho vị trí của O trong mạng chủ SnO₂. Ngoài ra,



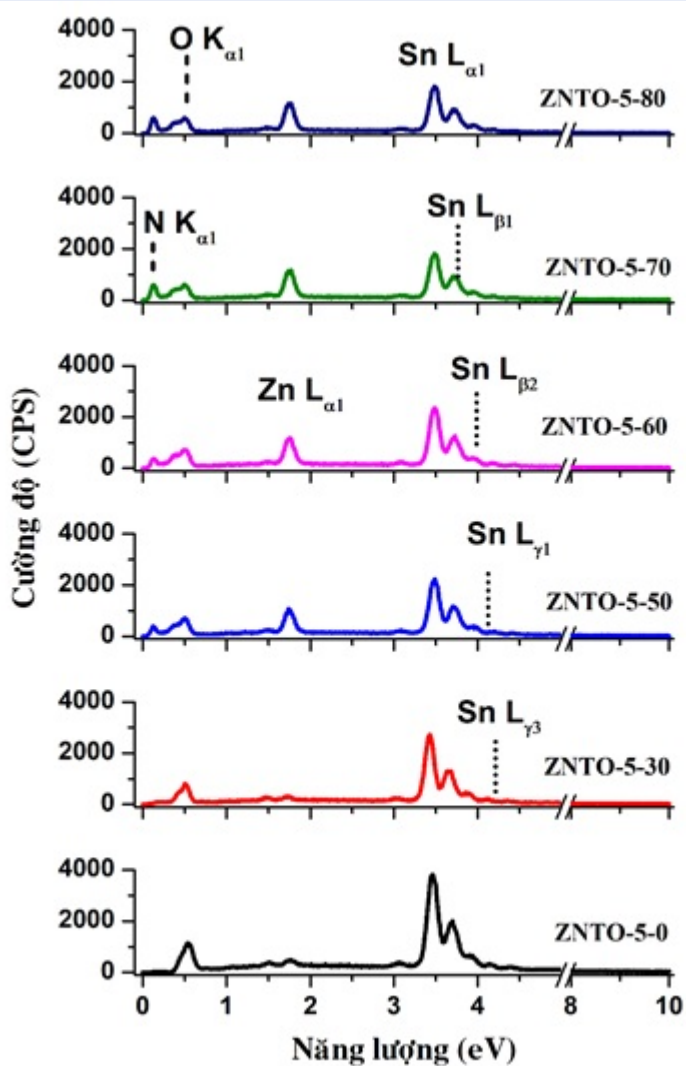
phần trăm của nguyên tố Sn và Zn trong màng không có sự thay đổi đáng kể khi thay đổi phần trăm hỗn hợp khí phun xạ.

Tính chất điện của màng ZNTO được quyết định bởi sự chiếm ưu thế giữa hai hạt tải mang điện dương là acceptor Zn²⁺ hay N³⁻ và hạt tải mang điện âm như khuyết oxygen (V_o) tự nhiên hay Zn_i (sai hỏng Zn nằm ngoài nút)⁹. Vì vậy, các thông số tính chất điện như điện trở suất, nồng độ hạt tải, độ linh động của các màng ZNTO - 5 - y được khảo sát bằng phép đo Hall (Bảng 3). Kết quả cho thấy màng ZNTO-5-0 đạt tính chất điện loại n. Kết quả này được giải thích do số lượng acceptor Zn_{Sn} thấp hơn so với khuyết tật tự nhiên tồn tại trong màng. Tuy nhiên, màng ZNTO khi được lắng đọng trong môi trường hỗn hợp khí phun xạ Ar/N với giá trị y³ 30% (y = 30, 50, 60, 70 và 80) đều có tính chất điện loại p, điều này do số lượng acceptor tăng lên đáng kể từ sự thay thế O²⁻ bởi N³⁻ trong mạng chủ SnO₂. Nồng độ lỗ trống của các màng

ZNTO-5-y tăng theo giá trị y tăng, chứng tỏ số lượng acceptor N³⁻ tăng theo phần trăm N₂ trong hỗn hợp khí phun xạ. Màng ZNTO-5-70 đạt giá trị điện trở suất thấp nhất $\rho = 6,50 \times 10^{-2} \Omega \cdot \text{cm}$ cùng với nồng độ hạt tải và độ linh động tương ứng là $n = 1,46 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ và $\mu = 6,52 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$.

Tính chất điện loại p của các màng ZNTO và hiệu ứng quang điện được khảo sát bởi đặc trưng dòng thế I-V. Đặc trưng I-V của tất cả các màng được khảo sát ở điều kiện được chiếu sáng và không được chiếu sáng. Sơ đồ cấu trúc In/p-ZNTO-5-y/n-Si/In được trình bày ở Hình 5. Đặc trưng tiếp xúc kim loại In với màng loại p SnO₂ và In với đế Silic loại n là đặc trưng Ohmic như đã đề cập trong các công trình^{9,12}.

Đặc trưng I-V sáng và tối của cấu trúc diode dị thể p-ZNTO-5-y/n-Si được biểu diễn bởi đồ thị log I-V và trình bày ở Hình 6A và B. Đặc trưng I-V tối cho thấy đặc trưng phi tuyến tính hay đặc tính chỉnh lưu diode với cường độ dòng nghịch của tất cả các màng xấp xỉ



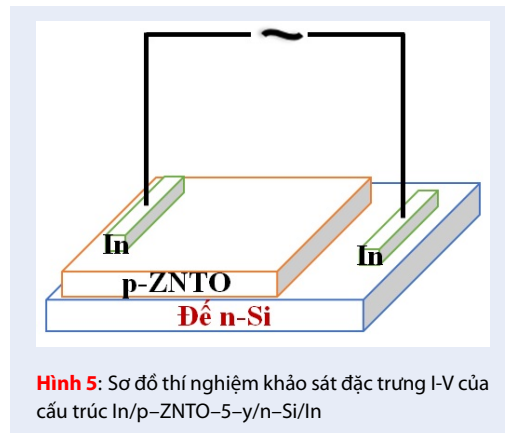
Hình 4: Phổ tán xạ năng lượng tia X (EDX) của các màng ZnTO-5-y (y = 0, 30, 50, 60, 70 và 80)

Bảng 2: Thành phần phần trăm các nguyên tố trong các màng ZnTO-5-y (y = 0, 30, 50, 60, 70 và 80)

Mẫu	% N	% O	% Sn	% Zn
ZnTO-5-0	19,23	43,52	30,66	6,59
ZnTO-5-30	22,89	40,92	29,75	6,44
ZnTO-5-50	27,60	35,11	30,35	6,94
ZnTO-5-60	28,30	34,20	30,60	6,90
ZnTO-5-70	29,87	33,57	29,92	6,64
ZnTO-5-80	30,31	33,13	30,01	6,55

Bảng 3: Kết quả phép đo Hall của các màng ZNTO-5-y lắng đọng ở 300°C từ bia SnO₂ pha tạp 5 %wt ZnO với phần trăm N₂ khác nhau (y) trong hỗn hợp khí phun xạ

Tên mẫu	Điện trở suất ρ (Ω .cm)	Độ linh động μ ($\text{cm}^2.V^{-1}.s^{-1}$)	Nồng độ hạt tải n (cm^{-3})	Loại
ZNTO-5-0	$1,60 \times 10^1$	8,20	$4,76 \times 10^{16}$	n
ZNTO-5-30	$8,00 \times 10^0$	6,80	$1,15 \times 10^{17}$	p
ZNTO-5-50	$9,62 \times 10^{-1}$	4,50	$1,44 \times 10^{18}$	p
ZNTO-5-60	$9,53 \times 10^{-2}$	5,30	$1,24 \times 10^{19}$	p
ZNTO-5-70	$6,50 \times 10^{-2}$	6,52	$1,46 \times 10^{19}$	p
ZNTO-5-80	$8,50 \times 10^{-2}$	3,30	$2,22 \times 10^{19}$	p



n nhau. Ở điều kiện chiếu sáng, cấu trúc p-ZNTO-5-y/n-Si cho đặc trưng giống với photodiode với dòng phân cực nghịch (dòng quang sinh được vẽ nét liền ở Hình 6) tăng đáng kể so với dòng phân cực nghịch ở điều kiện không chiếu sáng (nét đứt). Cường độ dòng quang sinh của cấu trúc p-ZNTO-5-70/n-Si đạt giá trị lớn nhất bởi vì màng tăng cường hấp thụ ánh sáng do bề mặt màng gồ ghề nhất. Kết quả này được giải thích do các bẫy điện tử quang sinh trong vùng nghèo là nhỏ nhất hay khuyết tật ít nhất. Tóm lại, đặc trưng I-V của các màng ở điều kiện chiếu sáng và không chiếu sáng đã xác nhận tính chất điện loại p. Kết quả thu được hoàn toàn phù hợp với công trình loại p ZnO^{20,21}. Kết quả này xác định rõ hơn vai trò của lớp bán dẫn p ZNTO có tính chất quang điện của một photodiode, đặc biệt hiệu ứng quang điện cao nhất đối với màng ZNTO-5-70, càng chứng tỏ màng đạt tính chất điện loại p tốt nhất như đã đề cập đến trong các phần trước đó.

Để tìm hiểu sâu hơn về hiệu ứng quang điện, đặc trưng dòng theo thời gian (I-T) dưới điều kiện bật và tắt đèn theo chu kỳ 5s (tín hiệu on-off) được khảo sát cho tất cả các tiếp xúc dị thể p-ZNTO-5-y/n-Si dưới nguồn Led trắng (được hiệu chuẩn từ nguồn đèn solar

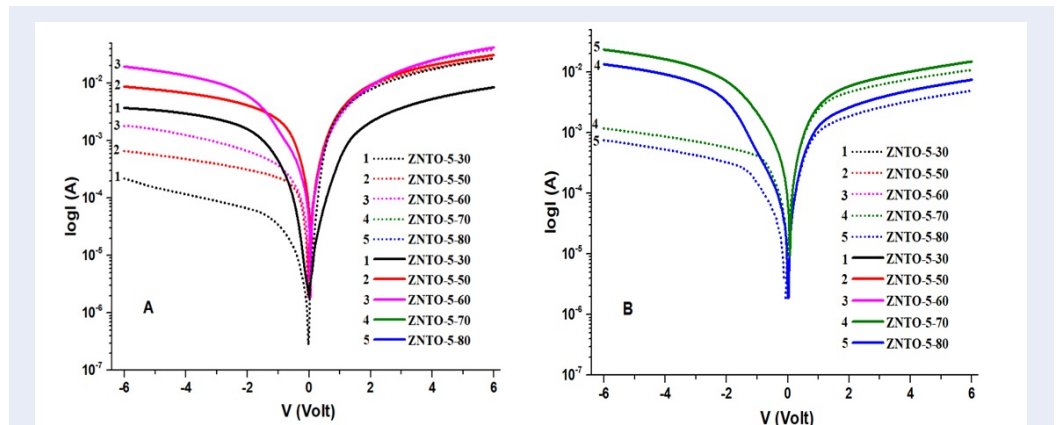
chuẩn với công suất 80 mW/cm²) ở thế - 3V. Đồ thị dòng đáp ứng quang điện của các màng p-ZNTO-5-y được trình bày ở Hình 7. Cường độ dòng tăng đột ngột khi bắt đầu chiếu sáng và đạt giá trị không đổi trong thời gian chiếu sáng, sau đó giảm đột ngột khi đèn tắt. Kết quả cho thấy dòng điện quang sinh thu được từ hiệu ứng chiếu sáng của tiếp xúc dị thể p-ZNTO-5-70/n-Si lớn nhất với cường độ xấp xỉ 1,2 mA, độ nhạy cao và tín hiệu có lặp lại tốt. Điều này xác định tính chất điện loại p của các màng p-ZNTO-5-y được chế tạo đáp ứng yêu cầu của một photodiode và có tiềm năng lớn trong việc chế tạo cảm biến ánh sáng.

KẾT LUẬN

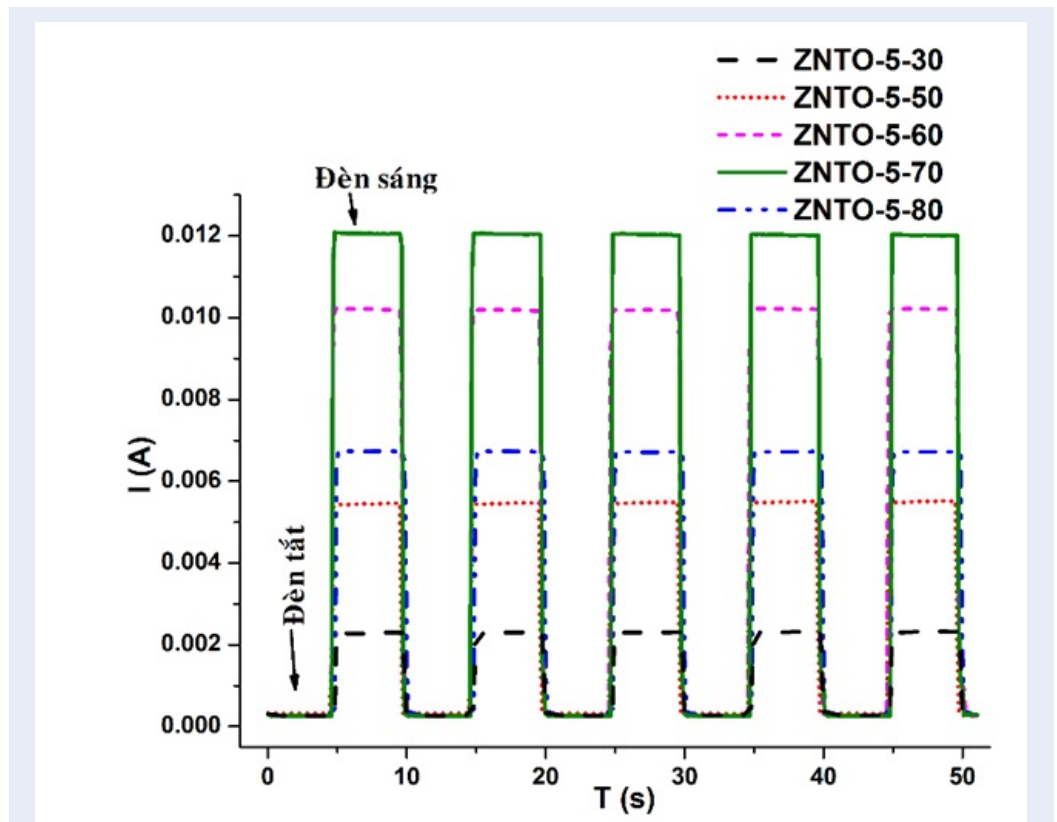
Công trình này đã nghiên cứu ảnh hưởng của đồng pha tạp Zn và N đến cấu trúc tinh thể, tính chất quang và điện của màng ZNTO-5-y (y = 0, 30, 50, 60, 70 và 80). Kết quả cho thấy vai trò của Zn giúp tăng sự hòa tan của N trong mạng chủ SnO₂ được thể hiện ở cấu trúc tinh thể. Cấu trúc tinh thể của các màng ZNTO-5-y đều ở trạng thái pha rutile với các mặt SnO₂ (110), (101) và (211) so với sự chuyển pha cubic của màng SnO₂ pha tạp N. Sự thay thế Sn⁴⁺ bởi Zn²⁺ và O₂- bởi N³⁻ được quan sát bởi quy luật hình thành và phát triển mặt SnO₂ (101) và thành phần nguyên tố của phổ tán xạ tia X (EDS). Kết quả giá trị tối ưu điện trở suất, nồng độ hạt tải và độ linh động của màng ZNTO-5-70 là $\rho = 6,50 \times 10^{-2} \Omega.cm$, $n = 1,46 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ và $\mu = 6,52 \text{ cm}^2.V^{-1}.s^{-1}$. Đặc trưng I-V của cấu trúc p-ZNTO-5-y/n-Si ở điều kiện chiếu sáng cho thấy tính chất điện loại p của các màng ZNTO-5-y và khả năng ứng dụng làm cảm biến quang. Ngoài ra, đặc trưng dòng đáp ứng quang của các màng ZNTO-5-y có độ nhạy cao và lặp lại tốt.

DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT

DC: dòng điện một chiều
 EDS: phổ tán xạ năng lượng tia X
 ZNTO: màng SnO₂ đồng pha tạp Zn và N



Hình 6: Đồ thị $\log I$ và V của cấu trúc diode dị thể p-ZnTO-5-y/n-Si ở điều kiện không chiếu sáng (nét đứt) và điều kiện chiếu sáng (nét liền)



Hình 7: Đồ thị dòng đáp ứng quang của các cấu trúc p-ZnTO-5-y/n-Si theo chu kỳ bật tắt đèn 5 giây

XRD: nhiễu xạ tia X
FESEM: Kính hiển vi điện tử quét phát xạ trường.
AFM: Kính hiển vi lực nguyên tử.
LEDs: diode phát quang.
Vo: khuyết oxygen
AM: Air Mass (trọng lượng khí quyển)
I-V: dòng-thế

XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

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

ĐÓNG GÓP CỦA TÁC GIẢ

Đặng Hữu Phúc thực hiện thực nghiệm, thu thập và xử lý kết quả, gửi bản thảo.

Lê Trần lên ý tưởng công trình, góp ý chuyên môn chỉnh sửa bản thảo.

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 103.03-2019.04.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Chinnasamy M, Balasubramanian K. Enhanced UV photodetection behavior of Cr doped wurtzite ZnO crystalline nanorods. *Opt Mater*. 2020;110:110492. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2020.110492>.
- Liu K, Sakurai M, Aono M. ZnO-Based Ultraviolet Photodetectors. *Sensors*. 2010;10(9):8604–8634. PMID: 22163675. Available from: <https://doi.org/10.3390/s100908604>.
- Li YF, Yao B, Deng R, Li BH, Zhang JY, Zhao YM, Ultraviolet photodiode based on p-Mg 0.2 Zn 0.8 O/n-ZnO heterojunction with wide response range. *J Phys Appl Phys*. 2009;42(10):105102. Available from: <https://doi.org/10.1088/0022-3727/42/10/105102>.
- Saravanakumar B, Mohan R, Thiyagarajan K, Kim S-J. Investigation of UV photoresponse property of Al, N co-doped ZnO film. *J Alloys Compd*. 2013;580:538–543. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2013.05.014>.
- Su L, Zuo Y, Xie J. Scalable manufacture of vertical P-GAN / N-SNO 2 heterostructure for self-powered ultraviolet photodetector, solar cell and dual-color light emitting diode. *InfoMat*. 2020;15:inf2.12127.
- 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 Alloys Compd*. 2016;687:1012–1020. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2016.06.236>.
- 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 Alloys Compd*. 2017;696:1314–1322. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2016.11.276>.
- Dang HP, Luc QH, Le T, Le VH. The Optimum fabrication condition of p-type antimony tin oxide thin films prepared by DC magnetron sputtering. *J Nanomater*. 2016;2016:1–11. Available from: <https://doi.org/10.1155/2016/7825456>.
- Le T, Dang HP, Luc QH, Le VH. A study of structural, electrical, and optical properties of p-type Zn-doped SnO2 films versus deposition and annealing temperature. *J Phys Appl Phys*. 2017;50(14):145102. Available from: <https://doi.org/10.1088/1361-6463/aa60f8>.
- Tsay C-Y, Liang S-C. Fabrication of p-type conductivity in SnO2 thin films through Ga doping. *J Alloys Compd*. 2015;622:644–650. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2014.10.003>.
- Ni J, Zhao X, Zheng X, Zhao J, Liu B. Electrical, structural, photoluminescence and optical properties of p-type conducting, antimony-doped SnO2 thin films. *Acta Mater*. 2009;57(1):278–285. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2008.09.013>.
- 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. *Ceram Int*. 2019;45(7):9147–9156. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.01.255>.
- Ding X, Fang F, Jiang J. Electrical and optical properties of N-doped SnO2 thin films prepared by magnetron sputtering. *Surf Coat Technol*. 2013;231:67–70. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2012.03.060>.
- Duong AQ, Dang HP, Le T. Studying and fabricating optical, electrical, and structural properties of p-type Al- and N- co-doped SnO2 (ANTO) films and investigating the photo-electro effect of p-ANTO/n-Si heterojunctions. *J Photochem Photobiol Chem*. 2020;390:112334. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2019.112334>.
- Anh TTT, Dang HP, Nguyen TT, Nguyen TMH, Ngoc CTT, Le T. Effect of N solubility in the SnO2 host lattice on the structural, electrical, and optical properties of p-type Ga- and N-co-doped SnO2 (GNTO) films. *J Photochem Photobiol Chem*. 2020;400:112708. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2020.112708>.
- Chantarat N, Chen Y-W, Lin C-C, Chiang M-C, Chen Y-C, Chen S-Y. Nitrogen Plasma-Assisted codoped P-type (In, N):SnO2 ultra-fine thin films and N-ZnO/p-In:SnO2 Core-Shell heterojunction diodes fabricated by an ultrasonic spray pyrolysis method. *J Phys Chem C*. 2011;115(46):23113–23119. Available from: <https://doi.org/10.1021/jp206091s>.
- Zhou Y, Xu W, Lv S, Yin C, Li J, Zhu B, et al. GaN codoping and annealing on the optoelectronic properties of SnO2 thin films. *J Alloys Compd*. 2018;732:555–560. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2017.10.234>.
- Mao Q, Ji Z, Zhao L. Mobility enhancement of p-type SnO2 by In-Ga co-doping. *Phys Status Solidi B*. 2010;247(2):299–302. Available from: <https://doi.org/10.1002/pssb.200945545>.
- Dang HP, Luc QH, Nguyen TT, Le T. Eliminating the charge compensation effect in Ga-doped SnO2 films by N doping. *J Alloys Compd*. 2019;776:276–286. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.10.272>.
- Dutta M, Basak D. p-ZnO/n-Si heterojunction: Sol-gel fabrication, photoresponse properties, and transport mechanism. *Appl Phys Lett*. 2008;92(21):212112. Available from: <https://doi.org/10.1063/1.2937124>.
- Yıldırım M, Kocycigit A. Characterization of Al/In:ZnO/p-Si photodiodes for various In doped level to ZnO interfacial layers. *J Alloys Compd*. 2018;768:1064–1075. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.07.295>.

Influence of N₂ doping on photodetective properties of p-typed Zn-N co-doped SnO₂/n-Si heterojunction

Le Tran¹, Dang Huu Phuc^{2,*}



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

ABSTRACT

This work studied the effects of Zn and N co-doping on the crystal structure, electrical properties, and photoelectric effects of p-typed Zn-N co-doped SnO₂/n-Si heterojunction. Zn and N co-doped SnO₂ films (ZNTO) were deposited on n-type Si substrates at 300°C in different sputtering gas mixture Ar/N₂ (% N = 0%, 30%, 50%, 60%, 70 % and 80%) from 5 wt% ZnO doped SnO₂ target by the DC magnetron sputtering method. The crystal structure, surface morphology, chemical composition, electrical properties, and photoelectric effects of ZNTO films were investigated by measurements such as X-ray diffraction, FESEM, AFM, EDS, Hall, and I-V. The results showed that all films had a rutile structure, and the SnO₂ (101) reflection was dominant on the optimal fabrication of 70% N₂. Substitution of Sn⁴⁺ by Zn²⁺ and O²⁻ by N³⁻ were determined by the X-ray diffraction pattern (XRD) and X-ray energy scattering spectrum (EDS). The lowest resistivity for the ZNTO-5-70 film was $\rho = 6.50 \times 10^{-2} \Omega \cdot \text{cm}$ with carrier concentration $n = 1.46 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ and hole mobility $\mu = 6.52 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ respectively. I-V characteristics of the p – ZNTO – 5 – y/n – Si under the illumination condition showed the p-type electrical properties and their application as optical sensors. The ZNTO – 5 – y films' optical response current characteristic had high sensitivity and good reproducibility.

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

¹Faculty 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

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

Correspondence

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

Email: danghuuphuc@iuh.edu.vn

History

- Received: 09-12-2020
- Accepted: 12-03-2021
- Published: 30-04-2021

DOI : 10.32508/stdjns.v5i2.980



Copyright

© VNU-HCM Press. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



Cite this article : Tran L, Phuc D H. Influence of N₂ doping on photodetective properties of p-typed Zn-N co-doped SnO₂/n-Si heterojunction. *Sci. Tech. Dev. J. - Nat. Sci.*; 5(2):1157-1166.