

## تأثیر لایه بافر بر آشکارساز نوری فرابنفش لایه نازک Al:ZnO

جعفری، سرور؛ زاهدی، فهیمه؛ یوسفی، محمدحسن

دانشکده علوم کاربردی دانشگاه صنعتی مالک اشتر، شاهین شهر، اصفهان

### چکیده

در این مطالعه تأثیر آرایش آلومینیوم بر ویژگی‌های ساختاری و اپتیکی لایه ZnO بررسی شد. لایه آرایش شده چندبلور با ساختار شش‌گوشی ورتزایت است. آرایش آلومینیوم نقص‌های ذاتی ZnO را از بین می‌برد و در نتیجه شفافیت نوری را تا ۹۰٪ افزایش می‌دهد. بررسی مشخصه I-V در تاریکی و تحت تابش فرابنفش برای دو لایه Al:ZnO بر روی لایه بافر و بر روی شیشه نشان داد که استفاده از لایه بافر باعث افزایش جریان نوری می‌شود.

## Effect of the buffer layer on UV photodetector based on Al doped ZnO thin film

Jafari, Sorour; Zahedi, Fahimeh; Yusefi, Mohammad hasan

Department of Physics, malek ashtar University, Esfahan 83145/115, Iran

### Abstract

In this study the effect of doped aluminum on structural and optical properties of ZnO thin film have investigated. Doped film is polycrystalline with hexagonal wurtzite structure. Doping Aluminum suppress the intrinsic defects of zinc oxide and increase the optical transparency up to 90%. The linear I-V characteristic in the dark and under UV illumination for both Al doped zinc oxide on buffer layer and on the glass substrate indicates that using the buffer layer increase the photocurrent.

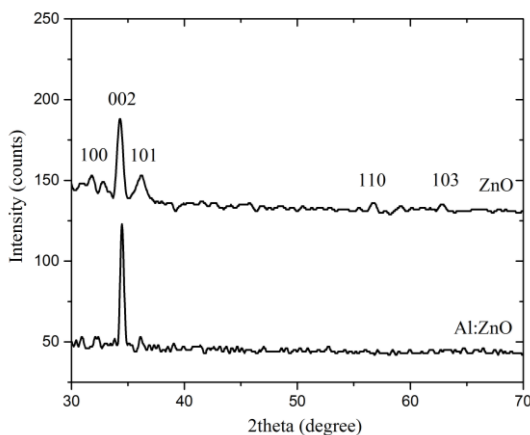
PACS No. 72.40, 73.00

### مقدمه

ZnO یکی از امیدبخش‌ترین ماده‌ها برای ساخت قطعات اپتوالکترونیک است. گاف نواری پهن  $3.37\text{ eV}$  و انرژی بستگی اکسیتونی بزرگ  $60\text{ meV}$ ، زیست سازگاری و مقرون‌به‌صرفه بودن باعث قابلیت کاربرد این ماده به‌عنوان آشکارساز نوری فرابنفش شده است. آشکارسازهای نوری فرابنفش به علت کاربردهای فراوانشان در صنایع نظامی و غیرنظامی مورد توجه قرار گرفته‌اند. این آشکارسازها در دستگاه‌های اندازه‌گیری تابش فرابنفش خورشیدی، تحقیقات فضایی، آشکارسازی موشک‌ها در مراحل اولیه پرتاب، نجوم و بیولوژیکی کاربرد دارند [۱]. آرایش ZnO با عناصر مختلف با هدف بهبود رسانایی الکتریکی به‌منظور استفاده در وسایل اپتوالکترونیک گزارش شده است [۲]. آرایش آلومینیوم

به دلیل مقرون‌به‌صرفه بودن و غیر سمی بودن پیشنهاد شده است. زیرلایه در کیفیت رشد نقشی مؤثر داشته که نمی‌توان آن را نادیده گرفت. اگر زیرلایه‌ای که برای رشد مورد استفاده قرار می‌گیرد، ثابت‌های شبکه‌ای در حدود ثابت‌های شبکه بلور ZnO داشته باشد، رشدی هم‌بافته و منظم ایجاد خواهد شد. اکثر زیرلایه‌های مورد استفاده در کاربردهای وسایل اپتوالکترونیک همچون شیشه، فاقد نظم شبکه‌ای مناسب هستند. این مشکل را می‌توان از طریق نشاندن لایه نازکی معمولاً از جنس ماده مورد نظر و ایجاد جایگاه‌های مناسب جهت رشد بلور روی زیرلایه، بهبود بخشید [۳]. در این مقاله تأثیر آرایش آلومینیوم بر ویژگی‌های ساختاری و اپتیکی لایه Al:ZnO تهیه شده به روش افشانه داغ بر روی زیرلایه شیشه بررسی شده و سپس طراحی و ساخت آشکارساز

نشان می‌دهد که هر دو لایه چندبلور<sup>۲</sup> با ساختار شش‌گوشه ورتسایت با جهت ارجح (۰۰۲) هستند. در الگوی پراش لایه Al:ZnO هیچ فاز اضافی دیگری مشاهده نمی‌شود. ثابت‌های شبکه هگزاگونال a و c از روی موقعیت قله‌ها با استفاده از رابطه (۱) و اندازه بلورک‌ها توسط رابطه شرر (۲) محاسبه شدند. همان‌طور که در جدول (۱) مشاهده می‌شود ثابت‌های شبکه به‌دست‌آمده در توافق خوبی با ثابت‌های شبکه کارت JCPDS (۱۴۵۱-۳۶) می‌باشند. آرایش آلومینیوم موجب کاهش اندازه بلورک‌ها می‌شود که این می‌تواند به دلیل اندازه شعاع یونی کوچک‌تر آلومینیوم ( $0.54 \text{ \AA}$ ) نسبت به شعاع یونی روی ( $0.74 \text{ \AA}$ ) باشد [۴].



شکل ۲: الگوی پراش پرتو X لایه‌های ZnO و Al:ZnO

$$\frac{1}{d^2} = \frac{4}{3} \left( \frac{h^2 + hk + k^2}{a^2} \right) + \frac{l^2}{c^2} \quad (1)$$

$$D = \frac{0.9 \lambda}{B \cos \theta} \quad (2)$$

جدول ۱: ثابت‌های شبکه و اندازه بلورک‌ها

درصد آرایش	a	C	D
JCPDS	۳/۲۵	۵/۲۰	
-	۳/۲۶	۵/۲۳	۳۱
۰/۵٪	۳/۲۶	۵/۲۰	۲۸

UV بر پایه لایه نازک Al:ZnO بر روی لایه بافر ZnO گزارش شده است.

## روش آزمایش

در ابتدا لایه بافر ZnO با روش شیمیایی افشانه داغ بر روی زیرلایه شیشه در دمای  $480^\circ\text{C}$  لایه‌نشانی شد. محلول استفاده شده  $0.2$  مولار زینک استات دی هیدرات است که با نسبت ۳ به ۱ به ترتیب در متانول و آب دیونیزه حل شد. چند قطره اسید استیک برای جلوگیری از تشکیل هیدروکسید روی به محلول اضافه شد. برای تهیه لایه Al:ZnO از آلومینیوم کلرید به‌عنوان منبع آرایش استفاده شد. درصد آرایش آلومینیوم ۰/۵٪ انتخاب شد. لایه Al:ZnO در دمای  $480^\circ\text{C}$  بر روی لایه بافر و بر روی شیشه لایه نشانی شد. از هوای فشرده به‌عنوان گاز حامل استفاده شد و سایر پارامترهای لایه نشانی مانند فاصله نازل تا زیرلایه (۳۰ cm)، غلظت محلول اولیه ( $0.2 \text{ M}$ )، دمای زیرلایه ( $480^\circ\text{C}$ ) و درجه اسپری محلول اولیه ( $3 \frac{\text{ml}}{\text{min}}$ ) بهینه شدند. زیرلایه شیشه به ترتیب با متانول و آب دیونیزه شستشو داده شد تا آلودگی‌ها از سطح زیرلایه برطرف شود.

ساختار بلوری توسط سیستم پراش پرتوایکس (Stoe-Germany- Study MP) و ( $\text{Cu K}\alpha, 1.54 \text{ \AA}$ ) اندازه‌گیری شد. طیف عبور نوری لایه‌ها در محدوده طول‌موج ۱۱۰۰-۳۵۰ nm با دستگاه (T70 UV/VIS Spectrometer PG Instruments Ltd) اندازه‌گیری شد. طیف نورتایی لایه‌ها با تحریک در طول‌موج ۳۵۰ nm و با استفاده از اسپکترومتر Perkin Elmer LS 55 Luminescence Spectrometer اندازه‌گیری شد.

از اتصال نقطه‌ای فلز نقره به‌عنوان الکتروود استفاده نمودیم. برای بررسی رسانایی نوری لایه‌ها، مشخصه جریان-ولتاژ (I-V) لایه‌ها در تاریکی و تحت تابش فرابنفش با لامپ فرابنفش که با طول‌موج ۳۵۲ nm و تحت بایاس (v) ۱۰- تا (v) ۱۰ توسط دستگاه Keithley Source meter 2400 اندازه‌گیری شد.

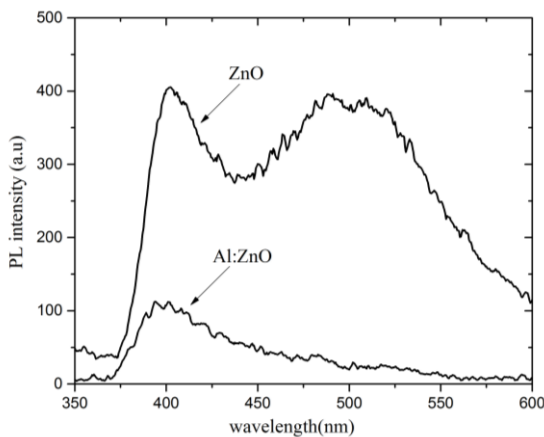
## نتایج و بحث

### مشخصات ساختاری

شکل (۲) الگوی پراش پرتوایکس را برای لایه ZnO و Al:ZnO رشد داده شده بر روی زیرلایه شیشه نشان می‌دهد. الگوی XRD

## ویژگی‌های اپتیکی

می‌دهد که اتم‌های Al در حین لایه نشانی نقص‌های ذاتی را از بین می‌برند [۷].



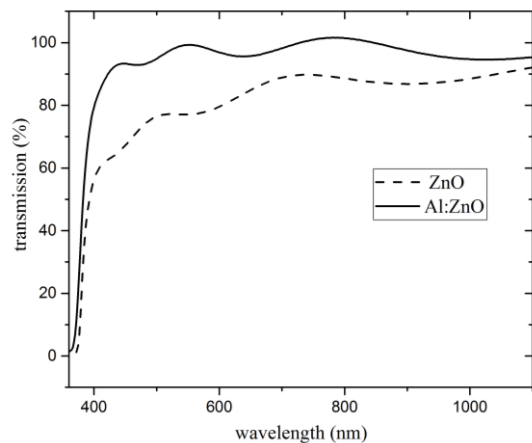
شکل ۴: طیف نورتایی لایه‌های ZnO و Al:ZnO

## رسانایی نوری

برای بررسی قابلیت کاربرد لایه‌ها در آشکارساز نوری فرابنفش، رسانایی نوری لایه‌ها را بررسی کردیم. شکل (۵) مشخصه جریان-ولتاژ نمونه‌ها را در تاریکی و تحت تابش فرابنفش نشان می‌دهد. به‌طورکلی جریان نوری نسبت به جریان تاریک افزایش یافته است. در تاریکی اکسیژن موجود در محیط جذب سطح لایه می‌شود و یک الکترون آزاد از اکسید روی با رسانندگی نوع n را به دام می‌اندازد  $[O_2(gas) + e^- \rightarrow O_2^-]$  که باعث ایجاد یک لایه تهی با رسانندگی کم، نزدیک سطح لایه می‌شود. این اثر در لایه‌هایی که از نانوبلور تشکیل شده باشد برجسته‌تر است، زیرا سطح لایه در نانوبلور بیش‌تر است و ناحیه تهی ممکن است کل حجم لایه را در برگیرد؛ اما همان‌طور که در شکل نشان داده شده است زمانی که لایه تحت تابش فوتون‌هایی با انرژی بیش‌تر از انرژی گاف قرار می‌گیرد، با جذب فوتون جفت‌های الکترون-حفره تولید می‌شوند. حفره‌های تولید شده به سمت سطح حرکت کرده و اکسیژن‌های جذب‌شده را خنثی می‌کنند.

$[h^+ + O_2^- \rightarrow O_2(gas)]$  اکسیژن خنثی‌شده از سطح واجذب می‌شود و باعث افزایش غلظت حامل‌های آزاد و همچنین کاهش لایه تهی در نزدیک سطح می‌شود [۸].

شکل (۳) طیف عبور نوری در دمای اتاق را برای لایه آلایش شده و بدون آلایش در گستره ۱۱۰۰-۳۷۰ nm نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود هر دولایه از شفافیت خوبی برخوردارند. مقایسه طیف عبور لایه‌ها نشان می‌دهد که لایه آلایش شده عبور نوری بالاتری نسبت به لایه بدون آلایش دارد (بالای ۹۰٪). بهبود عبور نوری می‌تواند به دلیل کاهش نقص‌های ذاتی مانند جای خالی اکسیژن و اتم‌های بین جایگاهی روی باشد که موجب کاهش جذب نور مرئی می‌شود. یک لبه جذب در طول‌موج حدود ۳۷۵ nm مشاهده می‌شود که مربوط به جذب در انرژی گاف است [۵]. با افزودن آلایش، لبه جذب به سمت طول‌موج‌های کوتاه‌تر می‌رود. در توافق با اثر Burstein-Moss شیف آبی به معنای افزایش چگالی حامل‌های بار است [۶].



شکل ۳: طیف عبور نوری لایه‌های ZnO و Al:ZnO

شکل (۴) طیف نورتایی را برای لایه‌های ZnO و Al:ZnO در دمای اتاق و تحریک در طول‌موج ۳۵۰ nm نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود لایه ZnO دارای دو قله گسیل است. قله در ناحیه فرابنفش در طول‌موج حدود ۳۷۵ nm قرارگرفته که به دلیل بازترکیب اکسیژن‌های مقید است و متناظر با انرژی گاف می‌باشد. درحالی‌که قله گسیل در ناحیه مرئی (متناظر با طول‌موج سبز) مربوط به نقص‌های ذاتی نظیر جای خالی اکسیژن و بین جایگاهی روی است که ترازهای عمیق در گاف نواری را شکل می‌دهند. در لایه آلایش شده تنها یک قله در ناحیه فرابنفش مشاهده می‌شود. عدم حضور قله در ناحیه مرئی در لایه آلایش‌شده نشان

## نتیجه‌گیری

آلایش لایه ZnO با Al باعث کاهش اندازه بلورک‌ها، افزایش شفافیت نوری و حذف گسیل مرئی در طیف نورتایی می‌شود. استفاده از لایه بافر در آشکارساز نوری فرابنفش، جریان نوری آشکارساز را بیشتر افزایش داده و پاسخ نوری آشکارساز را بهبود می‌بخشد.

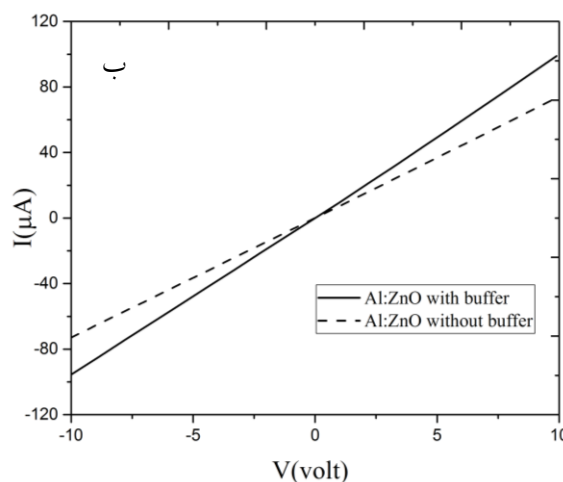
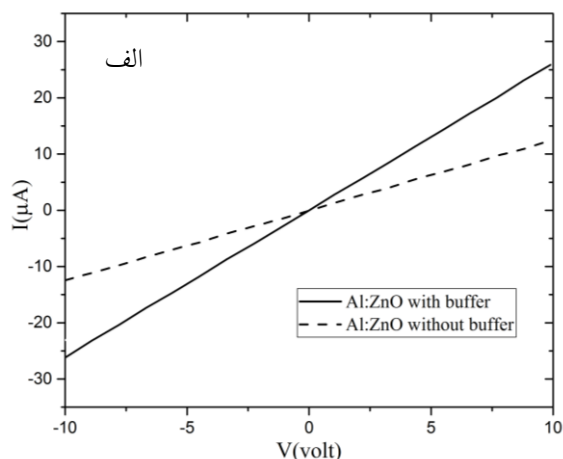
## مرجع‌ها

- [۱] پیمان نایی، کاووس میرعباس-زاده. تکنولوژی ساخت لایه نازک و کاربردهای آن. تهران: دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۸۱
- [۲] Ü. Özgür, Y. I. Alivov, C. Liu, A. Teke, M. A. Reshchikov, S. Doğan, V. Avrutin, S. J. Cho, and H. Morkoç, "A comprehensive review of ZnO materials and devices," *J. Appl. Phys.*, vol. 98, no. 4, pp. 1–103, 2005.
- [۳] S. Inamdar, V. Ganbavle, S. Shaikh, and K. Rajpure, "Effect of the buffer layer on the metal–semiconductor–metal UV photodetector based on Al-doped and undoped ZnO thin films with different device structures," vol. 9, pp. 1–9, 2015.
- [۴] A. El Manouni, F. J. Manjón, M. Mollar, B. Marí, R. Gómez, M. C. López, and J. R. Ramos-barrado, "Effect of aluminium doping on zinc oxide thin films grown by spray pyrolysis," vol. 39, pp. 185–192, 2006.
- [۵] L. Dghoughi, F. Ouachtari, M. Addou, B. Elidrissi, H. Erguig, A. Rmili, and A. Bouaoud, "The effect of Al-doping on the structural, optical, electrical and cathodoluminescence properties of ZnO thin films prepared by spray pyrolysis," *Phys. B Phys. Condens. Matter*, vol. 405, no. 9, pp. 2277–2282, 2010.
- [۶] J. Lu, Y. Zhang, Z. Ye, L. Wang, B. Zhao, J. Huang, "p-type ZnO films deposited by DC reactive magnetron sputtering at different ammonia concentrations," *Materials Letters*, vol. 57, pp. 3311–3314, 2003.
- [۷] J. H. Noh, I. Cho, S. Lee, C. M. Cho, H. S. Han, J. An, C. H. Kwak, J. Y. Kim, H. S. Jung, J. Lee, and K. S. Hong, "Photoluminescence and electrical properties of epitaxial Al-doped ZnO transparent conducting thin films," vol. 2138, no. 9, pp. 2133–2138, 2009.
- [۸] A. Bedia, F. Z. Bedia, B. Benyoucef, and S. Hamzaoui, "Electrical characteristics of Ultraviolet photodetector based on ZnO nanostructures," *Phys. Procedia*, vol. 55, pp. 53–60, 2014.

- 1 Aluminum Zinc Oxide
- 2 Polycrystalline
- 3 2DEG

همان‌طور که مشاهده می‌شود لایه‌ها در حضور بافر جریان بیشتری نسبت به لایه بدون بافر از خود نشان می‌دهند. نقش عمده لایه بافر شکل دادن یک اتصال مناسب با لایه جاذب است.

اهمیت بافر اکسید روی در تشخیص عملکرد UV این است که پیوند بین لایه بافر و لایه بالایی اکسید روی باعث ایجاد تماس الکتریکی خوب در سراسر مرز مشترک می‌شود و بنابراین باعث تزریق بار الکتریکی کارآمد می‌گردد. الکترون‌های نوری ایجادشده داخل لایه Al:ZnO در امتداد محور c به لایه بافر اکسید روی منتشر شده و در مرز مشترک بین لایه بالایی Al:ZnO و لایه بافر ZnO جمع‌آوری می‌شوند، سپس یک گاز الکترونی دوبعدی<sup>۳</sup> تشکیل خواهد شد. گاز الکترونی دوبعدی مقاومت عرضی مرز مشترک را به شدت کاهش می‌دهد و در نتیجه الکترون‌های نوری تولیدشده به راحتی می‌توانند به الکتروود Ag برسند [۳].



شکل ۵: الف) مشخصه جریان تاریک-ولتاژ برای دو لایه Al:ZnO در حضور لایه بافر و عدم حضور لایه بافر ب) نمودار جریان نوری همان لایه‌ها