



مطالعه خواص الکتریکی و فتو رسانایی در پیوندگاه ناهمگون n-ZnO/p-CuO

مهدی ترابی گودرزی و حسین عشقی

دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی شهرورد، شهرورد

چکیده - پیوندگاه ناهمگون $CuO/ZnO:Al$ بر روی زیر لایه FTO با روش افشارانه تجزیه حرارتی تهییه گردید. نمونه تهییه شده توسط طیف XRD و $UV-Vis.$ های مشخصه یابی $I-V$ در شرایط تاریکی و تحت تابش استاندارد مورد مطالعه قرار گرفت. دریافتیم لایه های به کار گرفته شده دارای ساختار بسیلوری بوده و از گاف نواری اپتیکی 3.25 eV برای لایه ZnO و 1.63 eV برای لایه CuO برخوردار است. بررسی خواص الکتریکی نمونه حاکی از رفتار یکسوکنندگی است. بررسی واکنش قطعه به نورتابی نشان دهنده حساسیت بالاتر آن در شرایط بایاس وارون در مقایسه با بایاس مستقیم می باشد.

کلید واژه - پیوندگاه ناهمگون $CuO/ZnO:Al$, افشارانه تجزیه حرارتی، یکسوکنندگی، فتو-جریان.

A study on electrical and photo-conductance properties of n-ZnO/p-CuO heterojunction

Mehdi Torabi Goodarzi and Hosein Eshghi

Physics Department, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

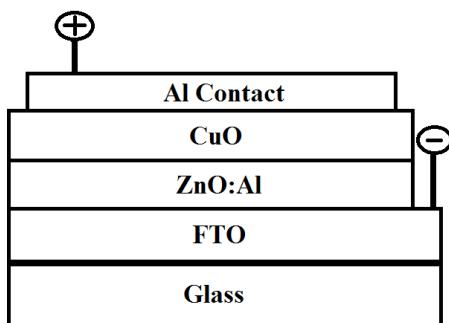
Abstract- $CuO/ZnO:Al$ hetero-junction were fabricated on FTO substrate by spray pyrolysis method. The prepared sample was characterized by XRD and $UV-Vis.$ spectra, also $I-V$ characterization in dark and under standard illumination. We found the investigated layers have a polycrystalline structure with an optical band gap of 3.25 eV for ZnO layer and 1.63 eV for CuO layer. Electrical characterization of the sample showed a rectifying behavior. The device reaction to the illumination showed that it has a higher sensitivity in reverse bias condition compared with that in forward bias.

Keywords: $CuO/ZnO:Al$ hetero-junction, Spray pyrolysis, Rectification, Photo-current.

مقدمه

گردید. شکل ۱ نمایی کلی از ساختار ساخته شده را نشان می‌دهد.

تحلیل ساختاری لایه‌ها توسط دستگاه پراش پرتو ایکس Å CuK α (XRD; Bruker AXS) با گسیل خط طیفی (UV-Vis. 1800) در بازه طول موج ۳۰۰-۱۱۰۰ nm انجام شد. خواص اپتیکی لایه‌ها به کمک طیف Shimadzu عبوری با استفاده از دستگاه طیف سنج نوری (BHP2063t) اندازه گیری شد. برای مشخصه یابی جربان ولتاژ نمونه ساخته شده از دستگاه الکترون‌بافت مدل استفاده شده است. بررسی خواص ساختار تحت تابش نور مرئی با استفاده از شبیه ساز استاندارد نور مرئی و با بهره گیری از لامپ هالوژن انجام گرفته است.



شکل ۱: نمای طرح گونه از ساختار لایه‌های CuO/ZnO:Al

نتایج و بحث خواص ساختاری

شکل ۲ طیف پراش پرتو ایکس نمونه پیوندگاهی ناهمگون CuO/ZnO:Al ما را نشان می‌دهد. این الگو حاکی از رشد لایه FTO با ساختار بسبلوری تتراترونال، لایه ZnO:Al با ساختار بسبلوری ششگوشی و لایه CuO با ساختار بسبلوری مونوکلینیک است. قله‌های پراش با شدت بیشینه نسبی مربوط به صفحات اتمی (۰۰۲) و (۱۰۱) وابسته به لایه ZnO:Al به ترتیب در زوایای $۳۴/۵^\circ$ و $۳۶/۳^\circ$ مشاهده می‌شود. همچنین دو قله‌ی پراش وابسته به لایه CuO مربوط به صفحات ترجیحی اتمی (۰۰۲) و (۱۱۱) با شدت‌های قابل مقایسه با یکدیگر، واقع در زوایای $۳۵/۶^\circ$ و $۳۸/۸^\circ$ مشاهده می‌گردد. این طیف نشانگر شکل گیری لایه‌های ناهمگون CuO/ZnO در نتیجه امکان تشکیل پیوندگاه در محل اتصال آنها می‌باشد.

اکسید مس (CuO) نیمرسانی نوع p با گاف نواری باریک $1/3-2/1 \text{ eV}$ به دلیل جذب بالای نور مرئی، در صنایع فوتولتاییک و ساخت سلول‌های خورشیدی مورد توجه قرار گرفته است [۱]. اکسید روی (ZnO) نیمرسانی نوع n با گاف نواری مستقیم و پهنه در حدود $3/2 \text{ eV}$ می‌باشد. ZnO برای کاربردهای مختلفی همچون الکترود رسانا در سلول‌های خورشیدی، حسگر‌های گازی، نمایشگر‌های صفحه تخت و قطعات پیزوالکتریک مورد استفاده قرار می‌گیرد [۲]. ساخت پیوندگاه‌های p-n با ساختار CuO/ZnO به روش‌های مختلف همچون کندوپاش تخلیه الکتریکی گازی [۳]، فشردنگی [۴]، الکترون‌بافت [۵] و سل-ژل [۶] جهت استفاده در سلول‌های خورشیدی، حسگر‌های گازی و یکسوکننده‌ها گزارش شده‌اند، لکن تا کنون گزارشی مبنی بر ساخت این پیوندگاه با لایه‌های مزبور به روش افشاره تجزیه حرارتی که روشی مقرر به صرفه از نظر اقتصادی بشمار می‌آید ارائه نگردیده است. ما در این تحقیق به تهیه ساختار CuO/ZnO:Al بر روی لایه رسانای شفاف FTO به روش افشاره تجزیه حرارتی پرداخته و خواص یکسوکننده‌گی آن و نیز واکنش آن در معرض نور را مورد بررسی قرار داده‌ایم.

روش تهیه نمونه

به منظور تهیه لایه رسانای شفاف FTO ($\text{SnO}_2:\text{F}$)، محلول $M/2$ کلراید قلع (SnCl_2) به همراه آمونیوم فلوراید (NH_4F) با نسبت وزنی 5% در دمای 0°C بر روی زیر لایه شیشه افشارنده شد. سپس لایه ZnO آلاییده با اتم‌های آلومینیم استفاده از 100 cc محلول $M/2$ کلراید (ZnCl_2) و آلومینیوم کلراید شش آبه ($\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) با نسبت $=2\%$ Al/Zn در FTO در دمای 440°C با آهنگ افشاره ای 5 ml/min و فشار bar $2/5$ لایه نشانی شد. به منظور لایه نشانی اکسید مس به عنوان لایه p از 100 cc محلول استات مس یک آبه با فرمول شیمیایی ($\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) در دمای 350°C با آهنگ 5 ml/min و فشار bar استفاده شد. به منظور فراهم شدن اتصال اهمی بر روی لایه CuO از آلومینیوم به روش تبخیر حرارتی در خلا رونشانی

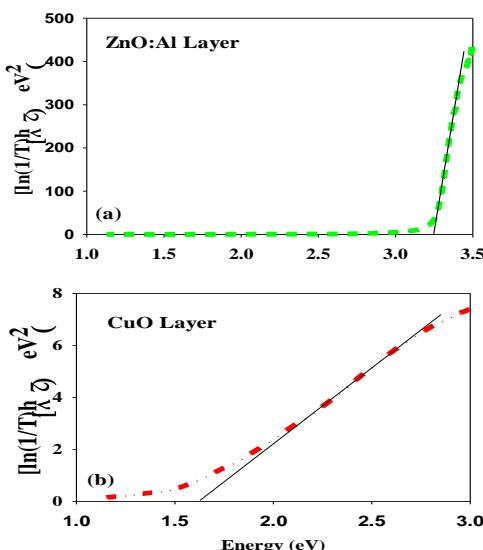
$$\alpha = \frac{1}{d} \ln\left(\frac{1}{T}\right) \quad (2)$$

که در آن d ضخامت لایه و T ضریب عبور لایه است. با توجه به معادلات (۱) و (۲) می‌توان نوشت:

$$\left[\ln\left(\frac{1}{T}\right) \times h\nu \right]^2 = d^2 C(E - E_g) \quad (3)$$

که نشانگر یک وابستگی خطی بین انرژی فوتون فرودی (E) و مربع عبارت $\ln\left(\frac{1}{T}\right) \times h\nu$ است. به کمک این

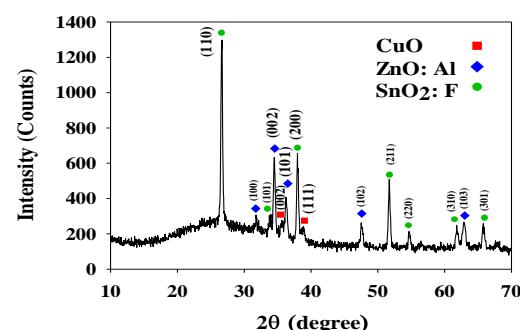
رابطه و با استفاده از برآوردهای داده‌ها در گستره خطی در ناحیه انرژی بالا به ازای $a=0$ می‌توان بزرگی گاف نواری اپتیکی لایه‌های تشکیل دهنده پیوندگاه را تعیین کرد. شکل ۴ (a) و (b) حاصل انجام این عملیات را برای لایه‌های ZnO:Al و CuO نشان می‌دهد. نتایج حاکی از گاف نواری اپتیکی ZnO:Al و CuO می‌باشد که در توازن با مقادیر گزارش شده برای گاف نواری این لایه‌هاست [۱] و [۲].



شکل ۴: تحلیل داده‌های اپتیکی مبتنی بر معادله (۳) به منظور تعیین گاف نواری لایه‌های تشکیل دهنده پیوندگاه: (الف) ZnO:Al و (ب) CuO.

خواص الکتریکی و فتو رسانایی پیوندگاه

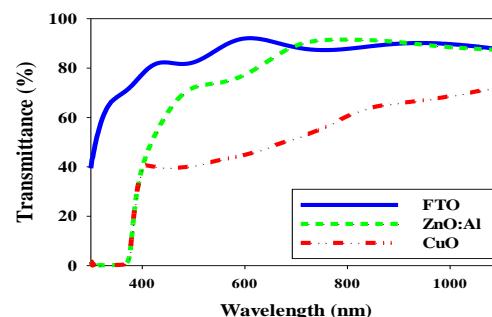
شکل ۵ مشخصه I-V نمونه را در دمای اتاق و در شرایط تاریکی و همچنین تحت تابش منبع نور استاندارد، از سمت شیشه، نشان می‌دهد. چنانچه پیداست این تغییرات دارای رفتاری غیر خطی و نامتقارن نسبت به ولتاژ اعمالی بوده که حاکی از خصلت یکسوسازی



شکل ۲: طیف پراش XRD ساختار نمونه مورد مطالعه.

خواص اپتیکی پیوندگاه

شکل ۳ طیف عبور اپتیکی هر یک از لایه‌های ساختار را به صورت جداگانه نشان می‌دهد. لایه FTO با میانگین ۹۰٪ در محدوده نور مرئی به عنوان لایه رسانای شفاف و به منظور جمع آوری بارهای انتقالی از لایه ZnO عمل می‌کند. همچنین لایه ZnO:Al با میانگین عبوری در حدود ۷۵٪ در ناحیه مرئی به عنوان لایه نوع n در این پیوندگاه نقش دارد. سرانجام لایه CuO با پایین‌ترین میزان عبور در ناحیه مرئی (در حدود ۴۰ درصد) می‌تواند به عنوان لایه جاذب فوتون‌های نوری عمل نماید.



شکل ۳: طیف عبور اپتیکی لایه‌های سازندهٔ پیوندگاه ناهمگون. بنا بر گزارشات منتشر شده [۱] و [۲] لایه‌های ZnO و CuO به عنوان نیمرساناهایی با گذارهای مستقیم بین نواری عمل می‌کنند. در طی این گذارهای ضریب جذب اپتیکی لایه‌ها (a) و بزرگی گاف نواری در معادله زیر به هم مربوط می‌شوند [۶]:

$$\alpha h\nu = \left[C(E - E_g) \right]^{1/2} \Leftrightarrow (\alpha h\nu)^2 = C(E - E_g) \quad (1)$$

که در آن E_g گاف نواری اپتیکی ماده نیمرسانا و C یک ضریب ثابت است. از طرفی ضریب جذب خود با توجه به قاعده لمبرت از عبارت زیر بدست آورد [۶]:

شرياط باياس وارون در مقایسه با شرياط باياس مستقيمه باشد. اين افزایش پهنا می تواند به افزایش حجم ناحيه فعال و نتيجه فراهم شدن فتو حامل های بيشتر بر اثر جذب نور در پيوندگاه منجر شود.

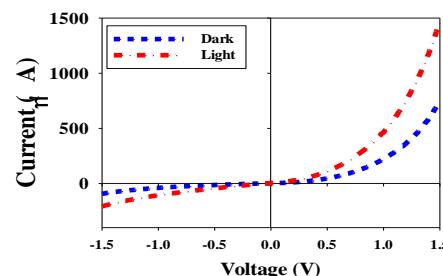
نتيجه گيري

پيوندگاه ناهمگون CuO/ZnO:Al بر روی زير لايه رساناي شفاف FTO به روش افشاره تجزيء حرارتی تهييه گردید. طيف XRD نمونه حاکي از رشد لاييه ساختار بسبوري ششگوشی ZnO و مونوكلينيك CuO می باشد. تحليل طيف عبور اپتيكى لاييه های تشکيل دهنده پيوندگاه حاکي از گاف نواری $3/25$ eV برای ZnO و $1/63$ eV برای لاييه CuO است. بررسی خواص الکترونيکی نمونه حاکي از خاصيت يكسوسازی پيوندگاه نسبت به ولتاژ اعمالي است. مشخصه I-V قطعه تحت تابش نور نشان دهنده واکنش پيوندگاه به تابش و توليد جريان نوري است. بررسی حساسيت پيوندگاه نشان دهنده حساسيت بالاتر پيوندگاه در شرياط باياس وارون در مقایسه باياس مستقيمه می باشد.

مراجع

- [1] A.A. Ogwu, T.H. Darma, E. Bouquerel, *Electrical resistivity of copper oxide thin films prepared by reactive magnetron sputterin*, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 24 (2007) 172-177.
- [2] F. Özyurt Kus, T. Serin, N. Serin, *Current transport mechanisms of n-ZnO/p-CuO heterojunctions*, *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, 11, (2009) 1855-1859.
- [3] B.M. Vermenichev, O.L. Lisitskii, M.E. Kumekov, S.E. Kumekov, E.I. Terukov, and S.Zh. Tokmoldin, *Electrical Propeties of n-ZnO/P-CuO Heterostructures, Semiconductors*, 41 (2007) 298-302
- [4] Y. Nakamura, H. Yoshioka, M. Miyayama, H. Yanagida, T. Tsurutani, Y. Nakamura, *Selective CO Gas Sensing Mechanism with CuO/ZnO Heterocontact*, *Journal of The Electrochemical Society*, 137, (1990) 940-943.
- [5] H. Kidowaki, T. Oku, T. Akiyama, *FABRICATION AND EVALUATION OF CuO/ZnO HETEROSTRUCTURES FOR PHOTOELECTRIC CONVERSION*, *IJRRAS*, 13 (2012) 67-72.
- [6] Y. Wang, I. Ramos, J.J. Santiago-Avilés, *Optical bandgap and photoconductance of electrospun tin oxide nanofibers*, *Journal of Applied Phys*, 102 (2007) 093517-1 - 093517-5.

پيوندگاه می باشد. اين داده ها همچنین نشانگر تاثير پذيری پيوندگاه نسبت به نورتابي است که بيانگر توليد جريان نوري ناشي از توليد جفت الکترون - حفره ها در پيوندگاه و نيز در محدوده طول پخش حامل های اقليل در دو سوي آن می باشد، به طوری که حفره ها به سمت لايه p-CuO و الکترون ها به سمت لايه n-ZnO حرکت كرده و باعث افزایش جريان عبوری در ولتاژ های اعمالي شده اند.

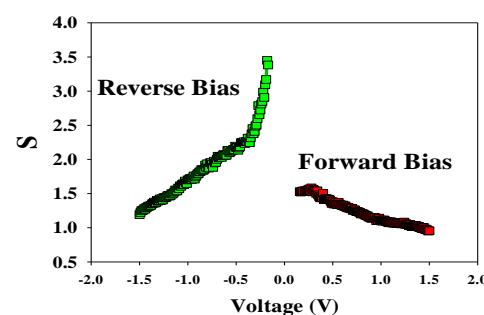


شکل ۵: مشخصه I-V وابسته به پيوندگاه p-CuO/n-ZnO در شرياط تاريكي و نورتابي.

ميزان حساسيت (S) پيوندگاه نسبت به نور تابشي در ولتاژ های مختلف را می توان توسط رابطه:

$$S = \frac{I_L - I_D}{I_D} \quad (5)$$

بررسی نمود که در آن I_L و I_D به ترتیب جريان های اندازه گیری شده در حالت تابش و تاريکی می باشد. شکل ۶ تغیيرات حساسيت نوري پيوندگاه را بر حسب ولتاژ اعمالي در شرياط باياس مستقيمه و وارون نشان می دهد.



شکل ۶: تغیيرات حساسيت پيوندگاه p-CuO/n-ZnO بر حسب ولتاژ اعمالي در شرياط باياس مستقيمه و وارون.

چنانچه پيدا است ميزان حساسيت نمونه به ازاي هر ولتاژ اعمال شده همواره در شرياط باياس وارون بيش از حساسيت آن در شرياط باياس مستقيمه است. اين موضوع می تواند ناشي از افزایش پهنهای ناحيه تهيی در محل پيوندگاه، که در آن ميدان الکترونيکی درونی وجود دارد، در