



بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه ۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز



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

مهدی ترابی گودرزی و حسین عشقی

دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود

چکیده - پیوندگاه ناهمگون $CuO/ZnO:Al$ بر روی زیر لایه FTO با روش افشانه تجزیه حرارتی تهیه گردید. نمونه تهیه شده توسط طیف های XRD ، $UV-Vis$ و همچنین مشخصه یابی $I-V$ در شرایط تاریکی و تحت تابش استاندارد مورد مطالعه قرار گرفت. دریافتیم لایه های به کار گرفته شده دارای ساختار بسببوری 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 $CuO/ZnO:Al$ ، افشانه تجزیه حرارتی، یکسوسازی، فوتو-جریان.

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

Mehdi Torabi Goodarzi and Hosein Eshghi

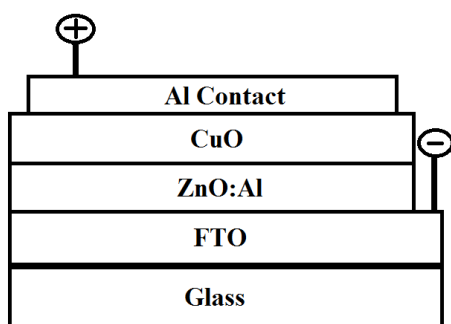
Physics Department, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

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

اکسید مس (CuO) نیمرسانای نوع p با گاف نواری باریک eV ۱/۳-۲/۱ به دلیل جذب بالای نور مرئی، در صنایع فوتوولتائیک و ساخت سلول های خورشیدی مورد توجه قرار گرفته است [۱]. اکسید روی (ZnO) نیمرسانای نوع n با گاف نواری مستقیم و پهن در حدود eV ۳/۲ می باشد. ZnO برای کاربرد های مختلفی همچون الکتروود رسانا در سلول های خورشیدی، حسگر های گازی، نمایشگر های صفحه تخت و قطعات پیزوالکتریک مورد استفاده قرار می گیرد [۲]. ساخت پیوندگاه های p-n با ساختار CuO/ZnO به روش های مختلف همچون کندوپاش تخلیه الکتریکی گازی [۳]، فشردگی [۴]، الکتروانباشت [۵] و سل-ژل [۲] جهت استفاده در سلول های خورشیدی، حسگر های گازی و یکسو کننده ها گزارش شده اند، لکن تا کنون گزارشی مبنی بر ساخت این پیوندگاه با لایه های مزبور به روش افشانه تجزیه حرارتی که روشی مقرون به صرفه از نظر اقتصادی بشمار می آید ارائه نگردیده است. ما در این تحقیق به تهیه ساختار CuO/ZnO:Al بر روی لایه رسانای شفاف FTO به روش افشانه تجزیه حرارتی پرداخته و خواص یکسوکندگی آن و نیز واکنش آن در معرض نور را مورد بررسی قرار داده ایم.



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

نتایج و بحث

خواص ساختاری

شکل ۲ طیف پراش پرتو ایکس نمونه پیوندگاهی ناهمگون CuO/ZnO:Al ما را نشان می دهد. این الگو حاکی از رشد لایه FTO با ساختار بسبیلوری تتراگونال، لایه ZnO:Al با ساختار بسبیلوری ششگوشی و لایه CuO با ساختار بسبیلوری مونوکلینیک است. قله های پراش با شدت بیشینه نسبی مربوط به صفحات اتمی (۰۰۲) و (۱۰۱) وابسته به لایه ZnO:Al به ترتیب در زوایای $34/5^\circ$ و $36/3^\circ$ مشاهده می شود. همچنین دو قله ی پراش وابسته به لایه CuO مربوط به صفحات ترجیحی اتمی (۰۰۲) و (۱۱۱) با شدت های قابل مقایسه با یکدیگر، واقع در زوایای $35/6^\circ$ و $38/8^\circ$ مشاهده می گردد. این طیف نشانگر شکل گیری لایه های ناهمگون CuO/ZnO در نتیجه امکان تشکیل پیوندگاه در محل اتصال آنها می باشد.

روش تهیه نمونه

به منظور تهیه لایه رسانای شفاف FTO ($\text{SnO}_2:\text{F}$)، محلول ۰/۲ M کلرید قلع (SnCl_2) به همراه آمونیوم فلوراید (NH_4F) با نسبت وزنی ۵٪ در دمای 50°C بر روی زیر لایه شیشه افشانه شد. سپس لایه ZnO آلیاژ شده با اتم های آلومینیم استفاده از ۱۰۰ cc محلول ۰/۲ M روی کلراید (ZnCl_2) و آلومینیوم کلراید شش آب ($\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) با نسبت $\text{Al/Zn} = 2\%$ بر روی FTO در دمای 440°C با آهنگ افشانه ای ۵ ml/min و فشار ۴۴۰ bar در ۲/۵ لایه نشانی شد. به منظور لایه نشانی اکسید مس به عنوان لایه p از ۱۰۰ cc محلول استات مس یک آب به فرمول شیمیایی ($\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) در دمای 350°C با آهنگ ۵ ml/min و فشار ۱ bar استفاده شد. به منظور فراهم شدن اتصال اهمی بر روی لایه CuO لایه ای از آلومینیوم به روش تبخیر حرارتی در خلا روشانی

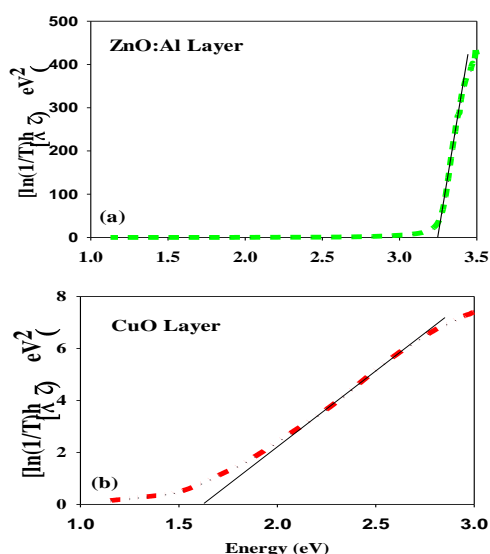
$$\alpha = \frac{1}{d} \ln\left(\frac{1}{T}\right) \quad (2)$$

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

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

که نشانگر یک وابستگی خطی بین انرژی فوتون فرودی (E) و مربع عبارت $\ln\left(\frac{1}{T}\right) \times hv$ است. به کمک این رابطه و با استفاده از برونیایی داده ها در گستره خطی در ناحیه انرژی بالا به ازای $\alpha=0$ می توان بزرگی گاف نواری اپتیکی لایه های تشکیل دهنده پیوندگاه را تعیین کرد.

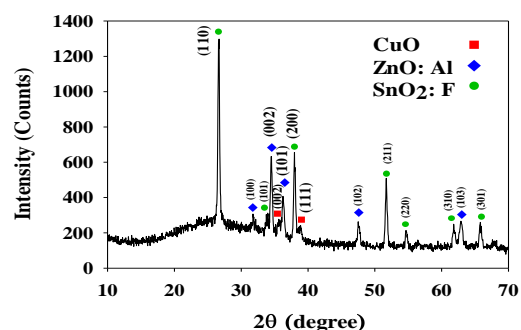
شکل ۴ (a) و (b) حاصل انجام این عملیات را برای لایه های ZnO:Al و CuO نشان می دهد. نتایج حاکی از گاف نواری اپتیکی 3.25 eV برای لایه ZnO و 1.63 eV برای لایه CuO می باشد که در توافق با مقادیر گزارش شده برای گاف نواری این لایه هاست [۱ و ۲].



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

خواص الکتریکی و فوتورسانایی پیوندگاه

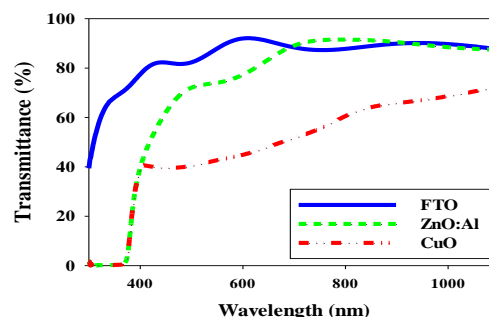
شکل ۵ مشخصه I-V نمونه را در دمای اتاق و در شرایط تاریکی و همچنین تحت تابش منبع نور استاندارد، از سمت شیشه، نشان می دهد. چنانچه پیداست این تغییرات دارای رفتاری غیر خطی و نامتقارن نسبت به ولتاژ اعمالی بوده که حاکی از خلصت یکسوسازی



شکل ۲: طیف پراش XRD ساختار نمونه مورد مطالعه.

خواص اپتیکی پیوندگاه

شکل ۳ طیف عبور اپتیکی هر یک از لایه های ساختار را به صورت جداگانه نشان می دهد. لایه FTO با میانگین عبور ۹۰٪ در محدوده نور مرئی به عنوان لایه رسانای شفاف و به منظور جمع آوری بارهای انتقالی از لایه ZnO عمل می کند. 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 پایین ترین میزان عبور در ناحیه مرئی (در حدود ۴۰ درصد) می تواند به عنوان لایه جاذب فوتون های نوری عمل نماید.



شکل ۳: طیف عبور اپتیکی لایه های سازنده ی پیوندگاه ناهمگون. بنا بر گزارشات منتشر شده [۱ و ۲] لایه های ZnO و CuO به عنوان نیمرساناهایی با گذارهای مستقیم بین نواری عمل می کنند. در طی این گذارها، ضریب جذب اپتیکی لایه ها (α) و بزرگی گاف نواری در معادله زیر به هم مربوط می شوند [۶]:

$$ahv = [C(E - E_g)]^{1/2} \Leftrightarrow (ahv)^2 = C(E - E_g) \quad (1)$$

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]:

شرایط بایاس وارون در مقایسه با شرایط بایاس مستقیم باشد. این افزایش پهنا می تواند به افزایش حجم ناحیه فعال و نتیجه فراهم شدن فوتو حامل های بیشتر بر اثر جذب نور در پیوندگاه منجر شود.

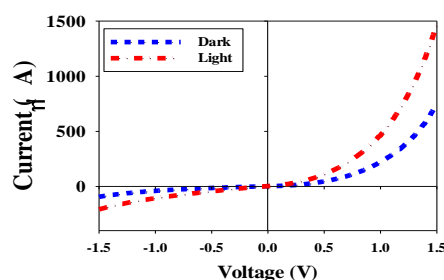
نتیجه گیری

پیوندگاه ناهمگون CuO/ZnO:Al بر روی زیر لایه رسانای شفاف FTO به روش افشانه تجزیه حرارتی تهیه گردید. طیف XRD نمونه حاکی از رشد لایه ساختار بسبب لوری ششگوشی ZnO و مونوکلینیک CuO می باشد. تحلیل طیف عبور اپتیکی لایه های تشکیل دهنده پیوندگاه حاکی از گاف نواری ۳/۲۵ eV برای لایه ZnO و ۱/۶۳ eV برای لایه CuO است. بررسی خواص الکتریکی نمونه حاکی از خاصیت یکسوسازی پیوندگاه نسبت به ولتاژ اعمالی است. مشخصه I-V قطعه تحت تابش نور نشان دهنده واکنش پیوندگاه به تابش و تولید جریان نوری است. بررسی حساسیت پیوندگاه نشان دهنده حساسیت بالاتر پیوندگاه در شرایط بایاس وارون در مقایسه با بایاس مستقیم 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. Vermechev, 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.

پیوندگاه می باشد. این داده ها همچنین نشانگر تاثیر پذیری پیوندگاه نسبت به نورتابی است که بیانگر تولید جریان نوری ناشی از تولید جفت الکترون - حفره ها در پیوندگاه و نیز در محدوده طول پخش حامل های اقلیت در دو سوی آن می باشد، به طوری که حفره ها به سمت لایه n-ZnO و الکترون ها به سمت لایه p-CuO حرکت کرده و باعث افزایش جریان عبوری در ولتاژ های اعمالی شده اند.

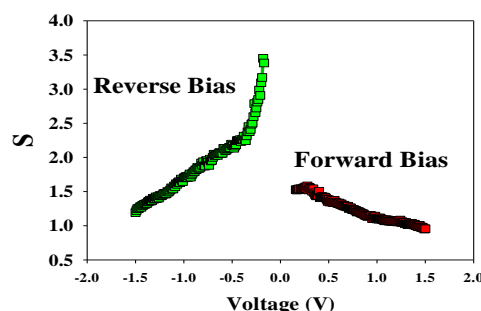


شکل ۵: مشخصه I-V وابسته به پیوندگاه p-CuO/n-ZnO در شرایط تاریکی و نورتابی.

میزان حساسیت (S) پیوندگاه نسبت به نور تابشی 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 جریان های اندازه گیری شده در حالت تابش و تاریکی می باشد. شکل ۶ تغییرات حساسیت نوری پیوندگاه را بر حسب ولتاژ اعمالی در شرایط بایاس مستقیم و وارون نشان می دهد.



شکل ۶: تغییرات حساسیت پیوندگاه p-CuO/n-ZnO بر حسب ولتاژ اعمالی در شرایط بایاس مستقیم و وارون.

چنانچه پیداست میزان حساسیت نمونه به ازای هر ولتاژ اعمال شده همواره در شرایط بایاس وارون بیش از حساسیت آن در شرایط بایاس مستقیم است. این موضوع می تواند ناشی از افزایش پهنای ناحیه تهی در محل پیوندگاه، که در آن میدان الکتریکی درونی وجود دارد، در