بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه۱۳۹۲ - 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*، و *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 بسبلوری بوده و از گاف نواری اپتیکی *eV* ۳/۲۵ برای لایه *ZnO* و *eV* ۱/۶۳ 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.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]

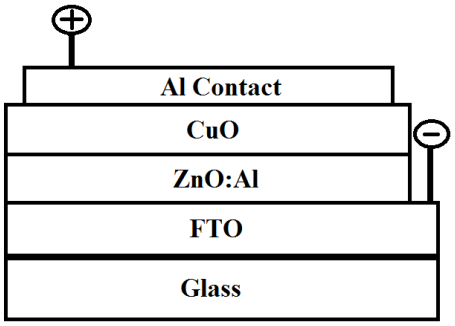
مقدمه

اکسید مس (CuO) نیمرسانای نوع p با گاف نواری باریک ۱/۳-۲/۱ eV به دلیل جذب بالای نور مرئی، در صنایع فوتوولتاییک 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 ۳/۲ eV می باشد. ZnO برای کاربرد های مختلفی همچون الکترود 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]، الکترونباشت [۵] و سل-ژل [۲] جهت استفاده در سلول های خورشیدی، حسگرهای 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 یکسوکنندگی آن و نیز واکنش آن در معرض نور را مورد بررسی قرار داده ایم.

روش تهیه نمونه

به منظور تهیه لایه رسانای شفاف FTO (SnO_2:F)، محلول ۰/۲ M کلرید قلع ($SnCl_2$) به همراه آمونیوم فلوراید (NH_4F) با نسبت وزنی ٪۵ در دمای ۵۰۰ $^{\circ}C$ بر روی زیر لایه شیشه افشانده شد. سپس لایه ZnO آلاییده با اتم های آلومینیم استفاده از ۱۰۰ cc محلول ۰/۲ M روی کلراید ($ZnCl_2$) و آلومینیوم کلراید شش آبه ($AlCl_3.6H_2O$) با نسبت ٪Al/Zn =۲ بر روی FTO در دمای ۴۴۰ $^{\circ}C$ با آهنگ افشانه ای ml/min ۵ و فشار bar ۲/۵ لایه نشانی شد. به منظور لایه نشانی اکسید مس به عنوان لایه p از ۱۰۰ cc محلول استات مس یک آبه با فرمول شیمیایی ($Cu(CH_3COO)_2.H_2O$) در دمای ۳۵۰ $^{\circ}C$ با آهنگ ml/min ۵ و فشار bar ۱ استفاده شد. به منظور فراهم شدن اتصال اهمی بر روی لایه CuO لایه ای از آلومینیوم به روش تبخیر حرارتی در خلا رونشانی گردید. شکل ۱ نمایی کلی از ساختار ساخته شده را نشان می دهد.

تحلیل ساختاری لایه ها توسط دستگاه پراش پرتو ایکس (XRD; Bruker AXS) با گسیل خط طیفی CuKα Å ۱/۵۴۰۵ انجام شد. خواص اپتیکی لایه ها به کمک طیف عبوری با استفاده از دستگاه طیف سنج نوری Shimadzu (UV-Vis. 1800) در بازه طول موج ۳۰۰-۱۱۰۰nm اندازه گیری شد. برای مشخصه یابی جریان-ولتاژ نمونه ساخته شده از دستگاه الکترونباشت مدل BHP2063t 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.



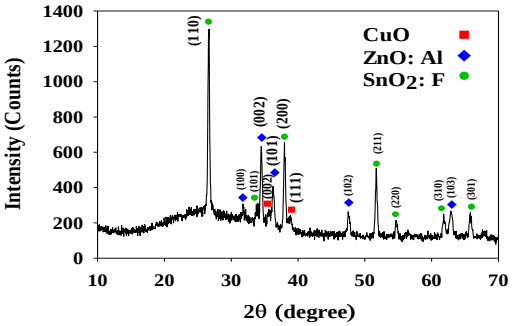
شکل ۱: نمای طرح گونه از ساختار لایه های CuO/ZnO:Al

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 بسبلوری تتراگونال، لایه ZnO:Al با ساختار بسبلوری ششگوشی و لایه CuO با ساختار بسبلوری 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 ۳۴/۵° و ۳۶/۳° 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 ۳۵/۶° و ۳۸/۸° مشاهده می گردد. این طیف نشانگر شکل گیری لایه های ناهمگون CuO/ZnO و در نتیجه امکان تشکیل پیوندگاه در محل اتصال آنها می باشد.

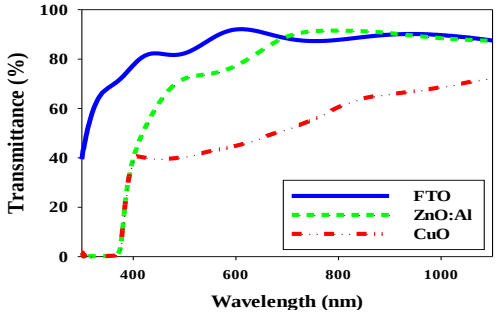
[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]



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 مریی (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 گذار های 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]:

$$\alpha h\nu = \left[C\left(E - E_g\right)\right]^{1/2} \Leftrightarrow (\alpha h\nu)^2 = C\left(E - E_g\right) \qquad (۱)$$

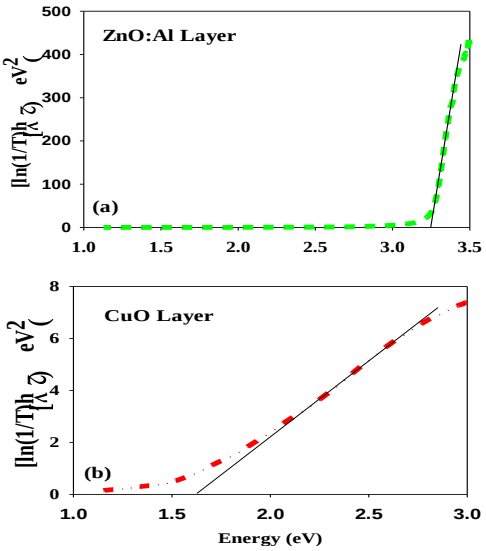
که در آن E_g گاف نواری اپتیکی ماده نیمرسانا و C یک ضریب ثابت است. از طرفی ضریب جذب خود با توجه به قاعده لمبرت از عبارت زیر بدست آورد [۶]:

$$\alpha = \frac{1}{d}\ln\left(\frac{1}{T}\right) \qquad (۲)$$

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

$$\left[\ln\left(\frac{1}{T}\right)\times h\nu\right]^2 = d^2C\left(E - E_g\right) \qquad (۳)$$

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 برونیابی 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 ۳/۲۵ eV برای لایه ZnO و ۱/۶۳ eV برای لایه CuO می باشد که در توافق با مقادیر گزارش شده برای گاف نواری این لایه هاست [۱ و ۲].



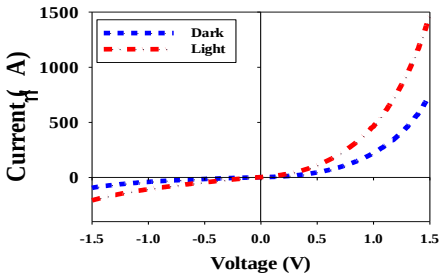
شکل ۴: تحلیل داده های اپتیکی مبتنی بر معادله (۳) به منظور تعیین گاف نواری لایه های تشکیل دهنده پیوندگاه: (الف) ZnO:Al و (ب) CuO.

خواص الکتریکی و فوتو رسانایی پیوندگاه

شکل ۵ مشخصه I-V نمونه را در 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 خصلت یکسوسازی

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]

پیوندگاه می باشد. ایـن داده هـا همچنـین نشـانگر تـاثیر پذیری پیوندگاه نسبت به نورتابی است کـه بیـانگر تولیـد جریان نوری ناشی از تولید جفت الکترون – حفـره هـا در پیوندگاه و نیز در محدوده طول پخش حامل هـای اقلیـت در دو سوی آن می باشد، به طوری که حفره ها به سـمت لایه n-ZnO و الکترون ها به سـمت لایـه p-CuO حرکـت کرده و باعث افزایش جریان عبوری در ولتاژ هـای اعمـالی شده اند.

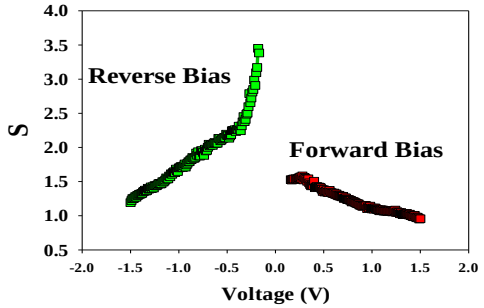


شکل ۵: مشخصه I-V وابسته به پیوندگاه p-CuO/n-ZnO در شرایط تاریکی و نورتابی.

میزان حساسیت (S) پیونـدگاه نسـبت بـه نـور تابشـی در ولتاژ های مختلف را می توان توسط رابطه:

$$S = \frac{I_L - I_D}{I_D} \qquad (۵)$$

بررسی نمود که در آن I_L و I_D به ترتیب جریان های اندازه گیری شده در حالت تابش و تـاریکی مـی باشـد. شـکل ۶ تغییرات حساسیت نوری پیوندگاه را بر حسب ولتاژ اعمالی در شرایط بایاس مستقیم و وارون نشان می دهد.



شکل ۶: تغییرات حساسـیت پیونـدگاه p-CuO/n-ZnO بـر حسـب ولتاژ اعمالی در شرایط بایاس مستقیم و وارون.

چنانچه پیداست میزان حساسیت نمونه به ازای هـر ولتـاژ اعمـال شـده همـواره در شـرایط بایـاس وارون بـیش از حساسیت آن در شرایط بایاس مستقیم است. این موضـوع می تواند ناشـی از افـزایش پهنـای ناحیـه تهـی در محـل پیوندگاه، که در آن میدان الکتریکی درونی وجود دارد، در شرایط بایاس وارون در مقایسه با شرایط بایـاس مسـتقیم باشد. این افزایش پهنا می تواند بـه افـزایش حجـم ناحیـه فعال و نتیجه فراهم شدن فوتو حامل های بیشـتر بـر اثـر جذب نور در پیوندگاه منجر شود.

نتیجه‌گیری

پیوندگاه ناهمگون CuO/ZnO:Al بر روی زیر لایه رسـانای شفاف FTO به روش افشانه تجزیه حرارتی تهیـه گردیـد. طیف XRD نمونه حاکی از رشد لایـه سـاختار بسـلوری ششگوشی ZnO و مونوکلینیـک CuO مـی باشـد. تحلیـل طیف عبور اپتیکـی لایـه هـای تشـکیل دهنـده پیونـدگاه حاکی از گاف نواری ۳/۲۵ eV برای لایه ZnO و ۱/۶۳ eV برای لایـه CuO اسـت. بررسـی خـواص الکتریکـی نمونـه حاکی از خاصیت یکسوسـازی پیونـدگاه نسـبت بـه ولتـاژ اعمالی است. مشخصه I-V قطعه تحـت تـابش نـور نشـان دهنده واکنش پیوندگاه بـه تـابش و تولیـد جریـان نـوری است. بررسی حساسیت پیوندگاه نشان دهنـده حساسـیت 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. 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.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]