

## Characteristic investigation of AZO/P-Si heterojunction UV/Vis sensor

M. Shasti<sup>1</sup>  
A. Mortezaali<sup>2</sup>

Received: 2011.11.27

Accepted: 2012.04.22

### Abstract

*In this study, Aluminum doped Zinc Oxide (AZO) is deposited on p-Si by spray pyrolysis method. The goal of this study is investigation of electro-optical properties of AZO/p-Si heterojunction and AZO layer before and after annealing under UV/Vis illumination. This fabricated heterojunction can be functioned as solar cell and UV/Vis sensor. Morphology and crystalline structure of AZO layer is investigated by SEM and XRD. Photovoltaic characteristics are measured and results show that although contacts are ohmic, their resistances are not low which can decrease efficiency. Therefore, contacts with resistivity about  $1 \Omega$  and using transparent conducting oxide such as FTO are needed to increase efficiency.*

**Keywords:** AZO/p-Si, Zinc oxide, Spray pyrolysis, UV/Vis sensor, Solar cell.

---

1. M.Sc. Student, Department of Physics, Alzahra University

2. Associate Professor of Physics, Alzahra University; [mortezaali@alzahra.ac.ir](mailto:mortezaali@alzahra.ac.ir)

مجله فیزیک کاربردی دانشگاه الزهرا (س)

شماره ۲، بهار و تابستان ۱۳۹۱

## بررسی مشخصه حسگر نوری پیوندگاہ نامتجانس AZO/p-Si لایه نشانی شده به روش افشانه داغ

مونا شصتی<sup>۱</sup>

عبدالله مرتضی علی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت ۱۳۹۰/۹/۶

تاریخ تصویب: ۱۳۹۱/۲/۲

### چکیده

در این تحقیق لایه AZO (اکسید روی الیث یافته با الومینیوم) بر روی زیر لایه p-Si به روش افشانه داغ لایه نشانی شد. هدف از این تحقیق بررسی خواص الکتروپتیکی پیوندگاہ نامتجانس AZO/p-Si و نیز لایه AZO تحت تابش نور مرئی و فرابنفش قبل و پس از پخت است. پیوندگاہ نامتجانس ایجاد شده می تواند به عنوان یک حسگر نوری و سلول خورشیدی عمل کند. به منظور بررسی ساختار بلوری و ریخت شناسی این لایه، از طیف پراش اشعه X (XRD) و میکروسکوپ الکترونی (SEM) استفاده شد. خواص

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه فیزیک، دانشگاه الزهرا (س)

<sup>۲</sup> دانشیار فیزیک، دانشگاه الزهرا (س)، [mortezaali@alzahra.ac.ir](mailto:mortezaali@alzahra.ac.ir)

فوتوولتاییک پیوندگاه نامتجانس AZO/p-Si اندازه گیری شد و نتایج نشان داد که اگرچه اتصال الکترودها به نمونه اهمی بوده اما مقاومت آن ها هنوز بالا بوده که باعث کاهش بازده سلول خورشیدی می شود بنابراین برای بالا بردن بازده نیازمند اتصالات اهمی با مقاومت حدود  $1\Omega$  و همچنین استفاده از لایه های اکسید رسانای شفاف نظیر FTO هستیم.

**واژه های کلیدی:** AZO/p-Si، اکسید روی، افشانه داغ، حسگر نوری، سلول خورشیدی.

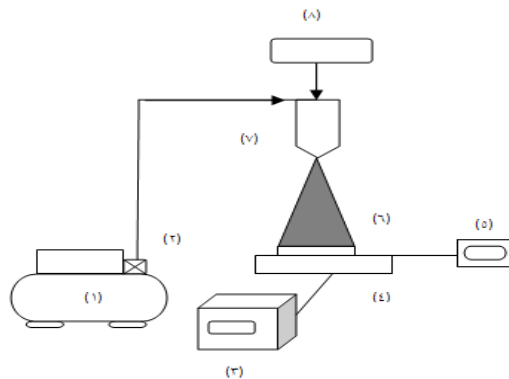
#### ۱. مقدمه

اکسید روی یک اکسید فلزی نیمه رسانا با گاف نواری پهن و مستقیم حدود ۳٫۳ev و انرژی بالای اکسایشی حدود ۶۰mev است [1]. از سوی دیگر این اکسید می تواند ریخت شناسی متنوعی از قبیل نانو میله، نانو تسمه، نانوذره، نانو ساختار درختی شکل و شانه ای را دارا باشد [2-3]. نسبت سطح به حجم بالا در این نانو ساختارها، باعث ایجاد خصوصیات الکتریکی و نوری منحصر به فردی می شود که می تواند کاربرد های زیادی در حسگر های گازی [4]، سلول خورشیدی [5-6] دیود گسیل کننده نور [7] و حسگر های نور فرابنفش [8-9] داشته باشد. روش های متنوعی برای ساخت نانو ساختار اکسید روی وجود داد که از آنها می توان به افشانه داغ [10-12]، کندوپاش [13] و سل - ژل [14] اشاره کرد. در زمینه ساخت سلول خورشیدی با پیوندگاه نامتجانس می توان به تحقیق ابراهیم و همکارانش [6] اشاره کرد آنها یک سلول خورشیدی از پیوندگاه نامتجانس AZO/p-Si را به روش اسپری ساختند به طوری که بازده بدست آمده برای این سلول حدود ۶٫۶٪ بود. جونگ و همکارانش [16] پاسخ نوری پیوندگاه نامتجانس ZnO/p-Si را به عنوان یک حسگر نوری بررسی کردند. همچنین حنان و همکارانش

[19] به منظور افزایش سطح موثر سیلیکان جهت جذب بیشتر نور و افزایش حساسیت نوری لایه، ZnO را بر روی سیلیکان متخلخل لایه نشانی کرد. در این تحقیق با استفاده از روش افشانه داغ (به دلیل برخورداری این روش از ویژگیهایی از قبیل سادگی، ارزانی، عدم نیاز به سیستم خلا) لایه نازکی از AZO بر روی زیر لایه p-Si با ضخامت معین لایه نشانی شد. پاسخ لایه AZO و پیوندگاه AZO/p-Si به نور مرئی و فرابنفش قبل و پس از فرایند پخت مورد بررسی قرار می گیرد.

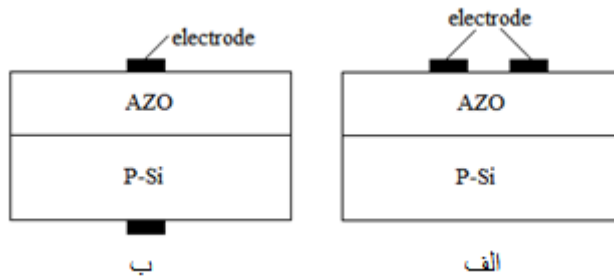
## ۲. روش آزمایش

۲۰ cc محلول استات روی دو ابه ( $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ ) به نسبت حجمی متانول به اب (۱ به ۳) تهیه گردید. الایش محلول فوق توسط نمک  $AlCl_3$  با نسبت ( $Al/Zn=1\%$ ) صورت گرفت. به منظور جلوگیری از تولید یون های هیدروکسید و نیز شفاف شدن محلول چند قطره اسید استیک نیز به محلول اضافه شد. قابل ذکر است که میزان درصد الایش و حجم محلول تاثیر بسزایی بر مقاومت لایه AZO دارد [20]. محلول مورد نظر بر زیر لایه تمیز شده Si به روش استاندارد در دمای  $T=450^\circ C$  لایه نشانی شد. در طی فرایند لایه نشانی از هوای خشک فشرده در فشار (2 bar) به عنوان گاز حامل استفاده شد به طوری که هنگام شار محلول ۳ ml/min کنترل شد و زیر لایه ۲۰ cm از نازل قرار داده شد. طرحی از سیستم مورد استفاده در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱. طرحواره افشانه داغ. (۱) فشرده کننده هوا، (۲) کنترل کننده فشار، (۳) منبع تغذیه، (۴) هیتر، (۵) ترموکوپل، (۶) زیر لایه، (۷) نازل، (۸) محلول

مطالعه ساختار بلوری لایه‌ها و ریخت شناسی آن‌ها با بررسی طیف XRD و تصاویر SEM صورت گرفت. پس از ساخت نمونه در ابعاد  $1 \times 1 \text{ cm}^2$  خواص الکترواپتیکی آن مورد بررسی قرار گرفت. به منظور اندازه‌گیری جریان-ولتاژ سطحی، با استفاده از چسب نقره دو اتصال به فاصله تقریبی  $3 \text{ mm}$  روی لایه مورد نظر ایجاد شد سپس مقاومت این لایه در تاریکی و تحت تابش نور لامپ UV  $8 \text{ W}$  و با طول موج  $\lambda = 365 \text{ nm}$  از فاصله  $1 \text{ cm}$  اندازه‌گیری شد. برای بررسی رفتار پیوند گاهی با استفاده از چسب نقره یک اتصال روی Si و دیگری روی AZO ایجاد شد و رفتار نمونه در تاریکی و تحت نور لامپ هالوژن  $75 \text{ W}$  و با فاصله  $11 \text{ cm}$  با بازه طول موجی  $(400 < \lambda < 800)$  مورد بررسی قرار گرفت. این اتصالات به صورت شماتیک در شکل ۲ رسم شده است. به منظور بررسی خواص فوتولتاییک از یک لامپ هالوژن  $75 \text{ W}$  و با فاصله  $3 \text{ cm}$  که معادل با  $66 \text{ KL}$  یا  $50 \text{ W/cm}^2$  استفاده شد.



شکل ۲. الف: نحوه اتصال روی سطح لایه AZO  
ب: نحوه اتصال به منظور بررسی خواص پیوندگاه

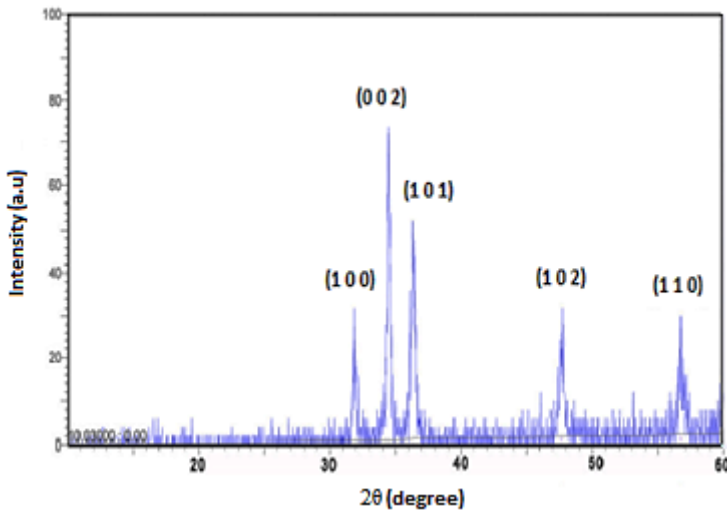
### ۳. نتایج و بحث

#### ۳-۱. ساختار بلوری AZO

طیف پراش XRD از لایه AZO در شکل ۳ آمده است. همانطور که از قله‌ها مشاهده می‌شود رشد به صورت چندبلوری بوده و فاز بلوری آن طبق کارت استاندارد (JCPDS 75-0576) ساختار شش‌گوشی ورتزایت است. وجود قله ارجح  $(002)$

نشان‌دهنده رشد مرجح در جهت محور C است. ثوابت شبکه  $a=3,24 \text{ \AA}$  و  $c=5,19 \text{ \AA}$  با استفاده از رابطه زیر بدست آمد.

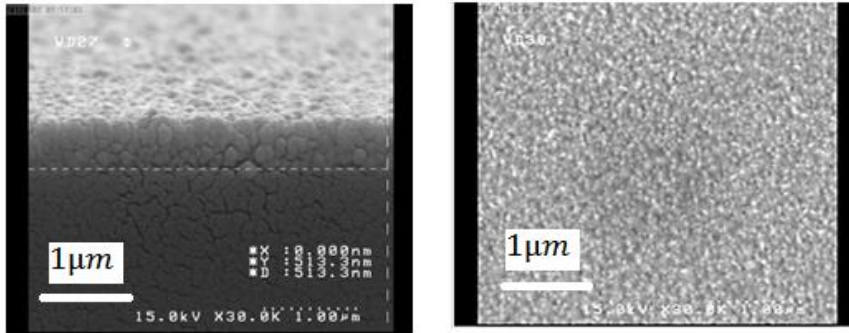
$$\frac{1}{d^2} = \frac{4}{3} \left( \frac{h^2 + hk + k^2}{a^2} \right) + \frac{l^2}{c^2}$$



شکل ۳. طیف XRD مربوط به لایه AZO

### ۳-۲. خواص ریخت شناسی (مورفولوژی)

به منظور بررسی خواص ریخت شناسی نمونه از میکروسکوپ الکترونی SEM استفاده شد همانطور که در شکل ۴(الف) نشان داده شده، لایه AZO از انباشته شدن دانه های کروی شکل که کل سطح را به بطور تقریباً یکنواخت پوشانده اند تشکیل شده است. در شکل ۴(ب) مقطع عرضی آن با ضخامت تقریبی  $513 \text{ nm}$  نشان داده شده است.

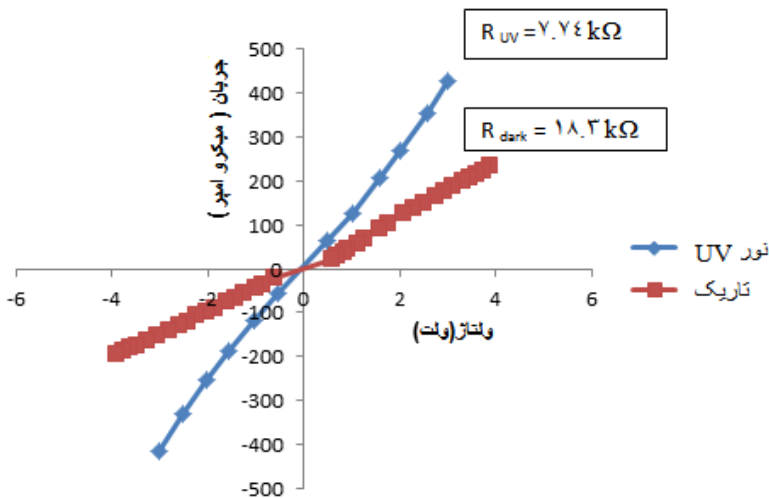


شکل ۴. الف: تصویر SEM سطح لایه AZO ب: تصویر از سطح مقطع

#### ۴. مشخصه I-V در حالت تاریک - تابش نور مرئی / فرابنفش

##### ۴-۱. مشخصه I-V سطحی لایه AZO

مشخصه I-V نمونه AZO در تاریکی و تحت تابش نور UV در شکل ۵ رسم شده است. همانطور که از نمودار پیداست با تابش نور جریان افزایش می یابد که منجر به کاهش مقاومت سطحی نمونه از  $18,3 \text{ K}\Omega/\text{cm}^2$  به مقدار  $7,74 \text{ K}\Omega/\text{cm}^2$  می شود. جریان در حالت تاریک ناشی از سوق الکترون هاست چون آنها حامل های اکثریت در لایه AZO هستند در نتیجه سهم بیشتری را در جریان تاریک به خود اختصاص می دهند. در اثر تابش نور UV فوتون هایی با انرژی بیش از پهنای گافی ZnO ( $E_g=3.3 \text{ eV}$ ) توسط این لایه جذب شده و باعث تولید زوج الکترون - حفره در این لایه می شوند و بدین ترتیب این الکترون و حفره های تولید شده یک جریان نوری را تولید می کنند و باعث افزایش جریان کل نسبت به حالت تاریک می شوند [15]. مشخصه I-V لایه در تاریکی و تحت تابش نور UV خطی است که نشان دهنده اهمی بودن اتصالات روی سطح است.



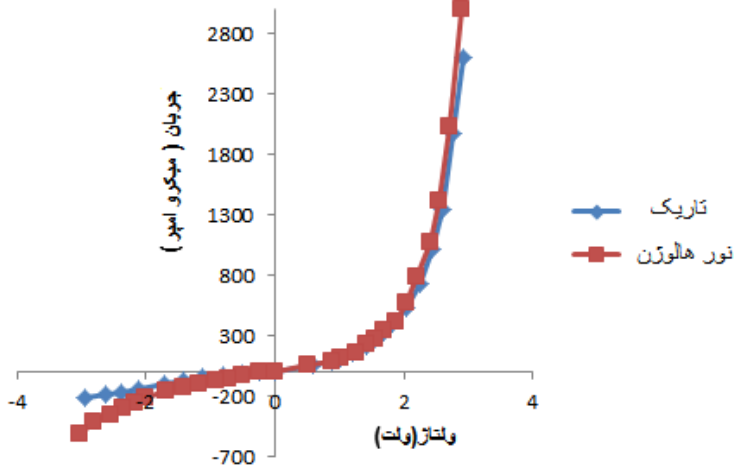
شکل ۵. مشخصه I-V نمونه AZO در تاریکی و تحت تابش نور UV

#### ۴-۲. مشخصه I-V پیوندگاه نامتجانس AZO/p-Si

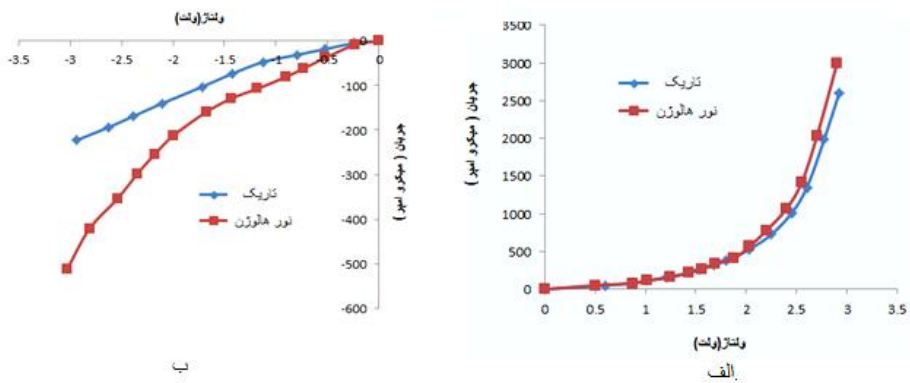
مشخصه I-V این پیوندگاه در حالت تاریک و تحت تابش نور هالوژن (مرئی) در شکل 6 رسم شده است. در اثر تابش نور مرئی لایه AZO در مقابل فوتون های نور مرئی عبور کرده و در لایه p-Si جذب شده و باعث تولید زوج الکترون و حفره می شود [16]. این الکترون و حفره تولیدی باعث افزایش جریان می شود. همانطور که انتظار می رود [17] میزان افزایش جریان در بایاس معکوس شکل ۷ (الف) بیشتر از بایاس مستقیم شکل ۷ (ب) است. در بایاس معکوس تحت تابش نور مرئی الکترون - حفره در ناحیه تهی از بار لایه p-Si ایجاد می شود بنابراین تحت میدان خارجی حفره های تولید شده باید به سمت الکتروود روی سطح Si حرکت کنند در حالی که فوتو الکترون ها باید از سد ( $\approx 3$  nm) SiO<sub>2</sub> (که در حین فرایند ساخت ایجاد می شود [16]) و پیوندگاه عبور کنند بنابراین جریان نوری غالب جریان ناشی از فوتو حفره هاست. در بایاس مستقیم خلاف حالت بالا رخ می دهد به طوری که در این موقعیت فوتو الکترون ها جریان نوری غالب را تشکیل می دهند اما در این حالت این فوتو الکترون ها برای رسیدن به الکتروود باید از ناحیه p-Si عبور کنند چون اکثریت بار در این لایه حفره است پس احتمال باز ترکیب



فوتوالکترون با این حفره ها بیشتر است پس جریان نوری در این حالت کمتر از بایاس معکوس است.



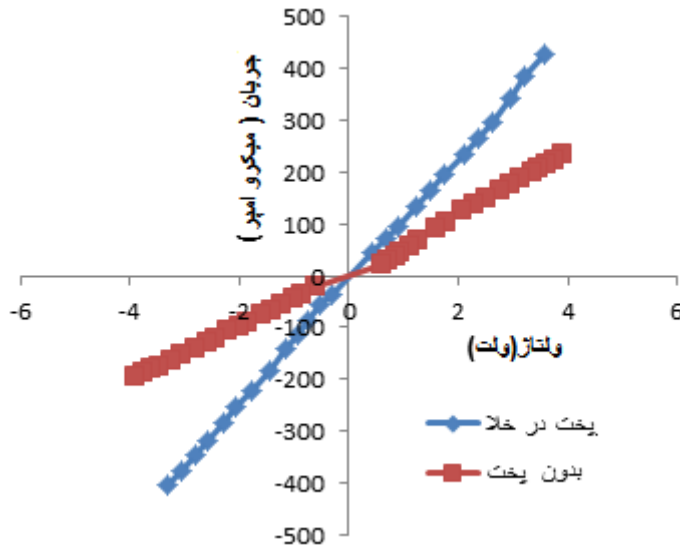
شکل ۶. مشخصه I-V نمونه AZO/p-Si در تاریکی و تحت تابش نور هالوزن



شکل ۷. الف. مشخصه I-V نمونه AZO/p-Si در تاریکی و تحت تابش نور هالوزن در الف. بایاس مستقیم ب. در بایاس معکوس

### ۵. اثر پخت بر مشخصه I-V پیوندگاه AZO/p-Si

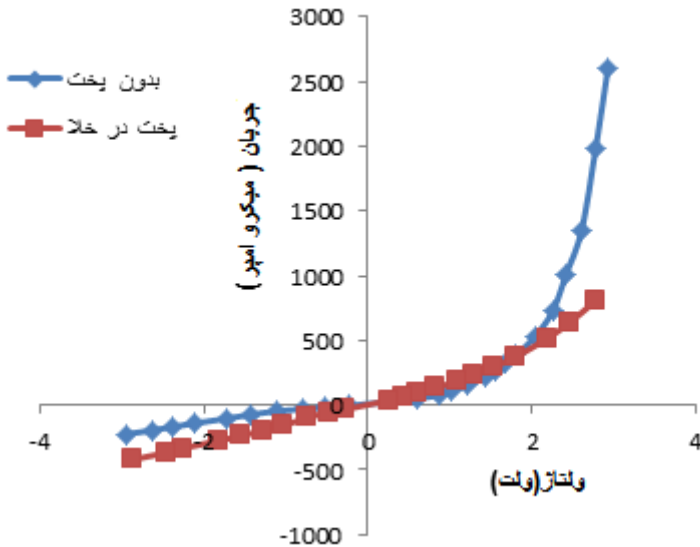
در شکل ۸ اثر پخت بر روی مشخصه I-V نمونه AZO مورد بررسی قرار گرفته است. نمونه در خلا (bar)  $10^{-2}$  در دمای  $450^{\circ}\text{C}$  به مدت ۴۵min پخت داده شد. همانطور که از شکل پیداست فرایند پخت سبب شده است که مقاومت نمونه نسبت به حالت بدون پخت کاهش یابد. فرایند پخت سبب شده است که مقدار قابل توجهی از اکسیژن بلوری ZnO آزاد شود و تهی جای اکسیژن به عنوان دهنده عمل کند که این امر باعث افزایش غلظت حامل های بار می شود و با بهبود در ساختار بلوری مقاومت لایه کاهش می یابد [18]. همانطور که در جدول ۱ آمده است در اثر فرایند بازپخت مقاومت لایه AZO از  $18,3\text{ K}\Omega/\text{cm}^2$  به  $8,3\text{ K}\Omega/\text{cm}^2$  کاهش یافته است.



شکل ۸. مقایسه مشخصه I-V نمونه AZO بدون پخت و نمونه با پخت در خلا (در حالت تاریک)

در شکل ۹ اثر پخت بر روی مشخصه I-V پیوندگاه AZO/p-Si رسم شده است. همانطور که از شکل پیداست فرایند پخت تحت شرایط فوق باعث از بین رفتن

خواص یکسو سازی می شود بنابراین فرایند پخت سبب پیوستگی بیشتر مرزدانه ها در منطقه پیوندگاه و کاهش مقاومت پیوندگاه شده به طوری که پیوندگاه دیودی تبدیل به پیوندگاه تقریباً اهمی شده است.



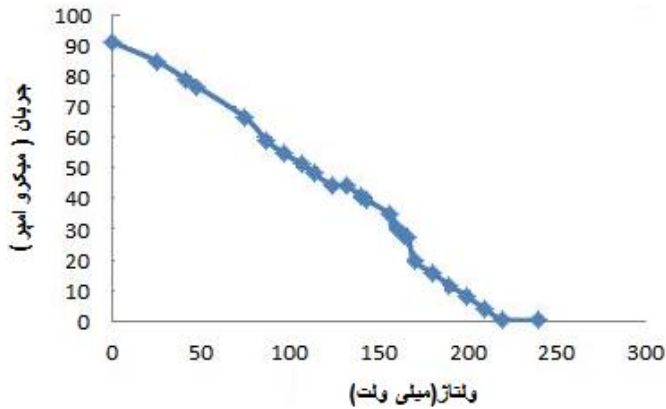
## ۶. مشخصه فوتوولتاییک پیوندگاه نامتجانس AZO/p-Si

مشخصه جریان مدار کوتاه ( $J_{sc}$ ) و ولتاژ مدار باز ( $V_{oc}$ ) این نمونه ها در جدول ۱ آمده است. همانطور که از جدول پیداست پخت در خلا سبب تخریب پیوندگاهی و به دنبال آن از بین رفتن خواص فوتوولتاییک نمونه می شود. نمونه بدون باز پخت را با استفاده از دستگاه پرتو الکترونی واز طریق یک ماسک انگشتی الکتروود گذاری الومینیوم می کنیم. همانطور که در جدول آمده است الکتروود گذاری الومینیوم سبب اتصال بهتر شده است و جریان مدار کوتاه افزایش یافته است.

جدول ۱. مشخصه فوتولتاییک نمونه ها

$J_{SC}$ ( $\mu A$ )	$V_{OC}$ (mv)	$R(K\Omega/cm^2)$	
۲۵	۲۱۰	۱۸,۳	نمونه بدون پخت
۴,۳	۲۵	۸,۳	نمونه پخت در خلا
۹۰	۲۴۰	-	نمونه بدون پخت با الکتروود الومینیوم

مشخصه  $J-V$  نمونه که الکتروود گذاری ان با طرح ماسک توسط تبخیر در خلا صورت گرفته است در شکل ۱۰ رسم شده است. مشخصه فوتولتاییک این نمونه در جدول ۲ آورده شده است. مقادیر بدست آمده قابل مقایسه با مقاله چین و همکارانش است [5]. بازده بدست آمده در مقایسه با بازده گزارش شده توسط ابراهیم و همکارانش [6] بسیار کمتر است که دلیل ان بالا بودن مقاومت اتصالات اهمی است.



شکل ۱۰. مشخصه  $J-V$  نمونه با الکتروود الومینیوم

جدول ۲. مشخصه فوتولتاییک نمونه با الکتروود الومینیوم

$\eta$ (%)	FF	$V_m$	$J_m$	$V_{OC}$ (mv)	$J_{SC}$ ( $\mu A$ )
۰,۰۰۶	۱۶	۸۳	۴۲	۲۴۰	۹۰

## ۷. نتیجه گیری

در این مقاله لایه نازک اکسید روی الایش یافته با الومینیوم از طریق افشانه داغ بر روی زیر لایه p-Si لایه نشانی شد. در پیوندگاه نامتجانس AZO/p-Si لایه AZO جذب نور UV و لایه p-Si جذب نور مرئی را بر عهده دارد پس این ساختار می تواند به عنوان یک حسگر نوری و یک سلول خورشیدی عمل کند. اثر فرایند پخت در خلا بررسی شد و مشاهده شد تحت فرایند پخت در شرایط ذکر شده خواص یکسوسازی پیوندگاه ازین می رود. خواص فوتولتاییک نمونه ها تحت نور هالوژن اندازه گیری شد و مشاهده شد که اتصال الکتروود بوسیله تبخیر الومینیوم به روش تفنگ الکترونی سبب اتصال بهتر شده و در پی ان جریان مدار کوتاه افزایش یافته است به طوری که بازده  $\eta = 0.006\%$  برای پیوندگاه نامتجانس AZO/p-Si بدست آمد ولی پایین بودن این بازده به دلیل بالا بودن مقاومت اتصالی است بنابراین به منظور افزایش بازده مورد نظر باید اتصالاتی با مقاومت بسیار کمتر ایجاد شود و همچنین از لایه های رسانای شفاف نظیر FTO استفاده کرد.

## ۸. منابع

- [1] L. Luo, Y.F. Zhang, S.S. Mao, and L.W. Lin, Sens. Actuators A. **127** 201–206 (2006)
- [2] U.Ozgun, Y.A. Alivov, C. Liu, A. Teke, M.A. Reshchikov, S. Dogan, V. Avrutin, S.J. Cho, and H.A. Morkoc, J. Appl. Phys. **98**, 041301 (2005)
- [3] S. J. Pearton, D. P. Norton, K. Ip, Y. W. Heo, and T. Steiner, J. Vac. Sci. Technol. B. **22** 932-948 (2004)
- [4] P. Mitra, A. P. Chatterjee, H. S. Maiti, Mater.Lett. **35**, 33 (1998)
- [5] X-Y. Chen, International Symposium on Photoelectronic Detection and Imaging. **17**, 99 (2009)
- [6] A. A. Ibrahim, A. Ashour, J.Mater.Sci:Mater Electron. **17**, 835 (2006)
- [7] J. H. Lim, C. K. Kang, K. K. Kim, I. K. Park, D. K. Hwang, and S. J. Park, Adv. Mater. **18**(20), 2720 (2006)

- [8] J. Mandalapu, Z. Yang, F. X. Xiu, D. T. Zhao, and J. L. Liu, Appl. Phys.Lett. **88**, 092103 (2006)
- [9] S. Liang, H. Sheng, Y. Liu, Z. Huo, Y. Lu, and H. Shen, J. Cryst. Growth. **225**, 110 (2001)
- [10] M.T. Mohammad, A.A. Hashim, and M.H. Al-Maamory, Materials Chemistry and Physics. **99**, 382–387 (2006)
- [11] F. K. Allah, S. Y.Abe', C.M. Nu'ñez, A. Khelil, and L. Cattin, Applied Surface Science. **253**, 9241–9247 (2007)
- [12] H. Gómez, A. Maldonado, R. Castanedo-Pérez, G. Torres-Delgado, M. De La, and L. Olvera, Materials Characterization. **58**,708–714 (2007)
- [13] W. Yang, Z. Wu, Z. Liu, A. Pang, Y.L . Tu, and C. Feng, Thin Solid Films, **519**,31 (2010)
- [14] B. Gupta, A. Jain, and R. M. Mehra, J. Mater. Sci, Technol. 26, 223 (2010)
- [15] M. E. Swanwick, S. M-L. Pfaendler, A. I. Akinwande, and A. J. Felwitt, Nanotechnology. **23**, 344009 (2012)
- [16] I. S. Jeong, J. H. Kim, and S. Im, Appl. Phys. Lett. **83**, 2946 (2003)
- [17] F. Yakuphanoglu, Y. Caglar, M. Caglar, and S. Illican, Materials Science in Semiconductor Processing . **13**, 137-140 (2010)
- [18] M. Sharma and R.M. Mehra, Applied Surface Science. **255**, 2527–2532 (2008).
- [19] Hanan A. Thjeel, Abdulla. M. Suhail, Asama N. Naji, Qahtan G. Al-Zaidi, Ghaida S. Muhammed, and Faten A. Naum , Advances in Materials Physics and Chemistry, 1, 70-77 (2011).
- [20] L. Sheikhi, Fabrication of TCO layer by doping ZnO Layer. Alzahra University, (2011).