

دیود شاکتی بر پایه‌ی نانوساختار اکسید روی با تماس آلیاژی AuGeNi

خلیل اسلامی جهرمی، محمد حسین مجلس‌آرا

آزمایشگاه نانو فوتونیک، دانشکده فیزیک، دانشگاه خوارزمی، تهران

چکیده

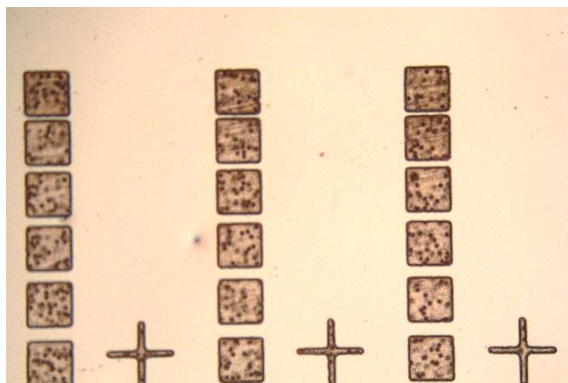
در این مقاله مقاومت تماسی ویژه‌ی فلز آلیاژی AuGeNi با نانوساختار ZnO نوع n به کار رفته در دیود شاکتی با روش طرح TLM گزارش شده است. لایه‌نازک اکسید روی از طریق لایه‌نشانی چرخشی سل سنتز شده، روی زیرلایه‌ی سیلیکانی تهیه گردید. بیشینه جذبی سل تهیه شده در طول موج ۲۹۰ nm مشاهده شد و پهنای گاف نواری محاسبه شده ۴٫۲۸ eV بدست آمد. سپس لایه‌نازک آلیاژی AuGeNi با روش بخار فیزیکی پس از انجام مراحل لیتوگرافی نوری به صورت طرح TLM خطی روی نمونه لایه‌نشانی شد مشخصه‌یابی I-V با روش سنجش چهار پروبی انجام گرفت و اندازه‌گیری مقاومت تماسی ویژه از طریق نمودار مقاومت کل بین پدهای فلزی مجاور بر حسب فاصله‌ی جدایی آنها، میسر گردید. مقاومت تماسی ویژه $71.3 \Omega - \text{cm}^2$ و مقاومت صفحه‌ای 150Ω محاسبه شد.

واژه‌های کلیدی: نانوساختار ZnO، سل-ژل، طرح TLM خطی، طیف جذبی، لیتوگرافی.

khalil.1368@gmail.com

۱- مقدمه

اثری ۲ به مدت ۳۰ ثانیه با سرعت ۳۰۰۰ rmp روی زیرلایه‌ها لایه‌نشانی شد. این فرآیند ۴ مرتبه تکرار گردید و بعد از هر پوشش نمونه در آون تحت دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد خشک گردید. در آخر نمونه‌ها در دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد در محیط نیتروژن بازپخت گرمایی شدند. همچنین طیف جذبی از محلول تهیه شده AZO در ناحیه مرئی-فرابنفش گرفته شد. به منظور نگاشت فلز به صورت طرح TLM خطی روی لایه‌ی ZnO، ماسک نوری شامل مربع‌هایی به ضلع ۱۰۰ میکرون و فواصل جدایی مختلف با گام‌های جدایی ۱۰ میکرومتری تهیه گردید. پس از انجام مراحل لیتوگرافی و لایه‌نشانی آلیاژ فلزی طرح مورد نظر روی نمونه‌ها منتقل گردید. برای اطمینان از صحت انجام لیتوگرافی و سونش کامل فلزات بین پدهای فلزی مربعی از تصویر میکروسکوپ نوری استفاده شد (شکل ۱). سپس از طریق مشخصه‌یابی I-V چهار پروبی، مقدار مقاومت بین هر پد تماسی با فواصل جدایی متفاوت محاسبه گردید.



شکل (۴) تصویر میکروسکوپ نوری از نمونه با طرح TLM خطی

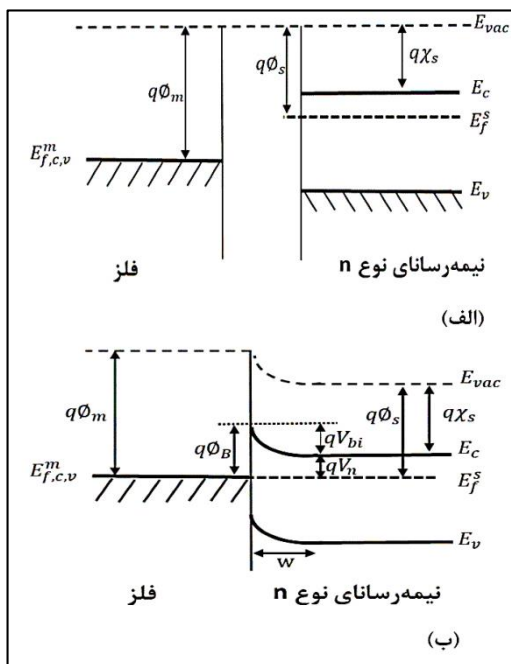
ZnO نیمه‌رسانایی نویدبخش است که خواص ممتازش نظیر گاف انرژی مستقیم عریض ۳٫۳۷ eV، انرژی پیوند اکسایتون بزرگ (۶۰ meV)، سختی تابش، زیست سازگاری و فراوانی، آن را انتخابی مناسب برای کاربردهای بالقوه در دیودهای نوری، حسگرهای فرابنفش، دیودهای نورگسیل (LED)، سلول‌های خورشیدی و دیگر افزاره‌های الکترونیک نوری و میکروالکترونیک ساخته است [۵-۱]. امروزه دیودهای شاکتی به خاطر سرعت کلیدزنی بالا و افت ولتاژ مستقیم پایین، جایگاه ویژه‌ای را در فناوری قطعات نیمه‌رسانا پیدا کرده‌اند. از آنجایی که جریان غالب در دیود سد شاکتی مربوط به حامل اکثریت بوده و ذخیره‌سازی بار در آن در اکثر موارد صرف‌نظر کردنی است، سرعت کلیدزنی این دیود بسیار بالاتر از دیودهای پیوند p-n است. به همین دلیل، دیودهای سد شاکتی در مدارهای فرکانس بالا کاربردهای زیادی پیدا کرده‌اند [۷-۶]. از سویی شکل‌گیری تماس مطمئن و مناسب از الزامات مهم برای ساخت چنین افزاره‌هایی با کارایی بالاست [۸-۹]. تماس فلز و نیمه‌رسانا، می‌تواند به دو صورت اهمی و یا سد شاکتی باشد. نوع تماس ایجاد شده به جنس فلز، جنس نیمه‌رسانا، شرایط سطحی نیمه‌رسانا، نوع و میزان آلودگی (چگالی ناخالصی) نیمه‌رسانا بستگی دارد [۶]. لذا به منظور بررسی و مطالعه‌ی تماس ایجاد شده در این نوع افزاره، از روشی موسوم به طرح TLM بهره‌گیری گردید. از این رو برای مشخصه‌یابی I-V و تعیین مقاومت تماسی ویژه، الکوی TLM خطی بر روی لایه‌نازک ZnO نگاشته شد. تاکنون گزارشی مبنی بر برقراری تماس آلیاژی با لایه‌های اکسید روی ایجاد شده به روش سل-ژل ارائه نشده است. در این پژوهش ما طرح فلزکاری AuGeNi در تماس با لایه‌نازک ZnO آلوده شده با Al سنتز شده به روش سل-ژل را بررسی خواهیم کرد.

۲- مراحل تجربی

لایه‌نازک ZnO آلوده شده با Al به روش لایه‌نشانی چرخشی روی زیرلایه‌ی سیلیکانی نوع p لایه‌نشانی گردید [۹-۱۰]. قبل از لایه‌نشانی ابتدا زیرلایه‌ها به صورت فراصوتی و سپس طبق دستور RCA-1 که دستوری استاندارد برای مراحل تمیزسازی ویفر است شستشو گردید. محلول تهیه شده با آلودگی درصد

۳- روش و بحث

طیف جذبی فرابنفش- مرئی نمونه ZnO:Al با درصد اتمی ۲٪ در شکل ۲ نشان داده شده‌اند. همانطور که مشخص است بیشینه‌ی جذب در طول موج ۲۹۰ nm قرار دارد. $E_{\text{g}}^{\text{nano}}$ پهنای تقریبی گاف نواری نانوذرات سل است که می‌توان از طریق رابطه‌ی زیر بدست آورد:



(۵) نمودار نوار انرژی تماس فلز-نیمه رسانا، الف) قبل از تماس، ب) بعد از تماس

مقاومت کل شامل مقاومت تماسی بین پد فلزی و نیمه رسانای زیر آن و مقاومت خود نیمه رسانا است:

$$R_T = R_s + rR_c \quad (۵)$$

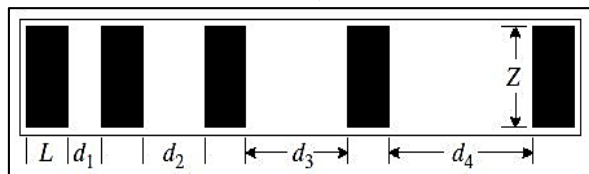
وقتی طول پد تماسی خیلی بیشتر از طول انتقال $L \gg L_T$ باشد، مقاومت تماسی برابرست با:

$$R_c \cong \frac{L_T R_{sh}}{z} \quad (۶)$$

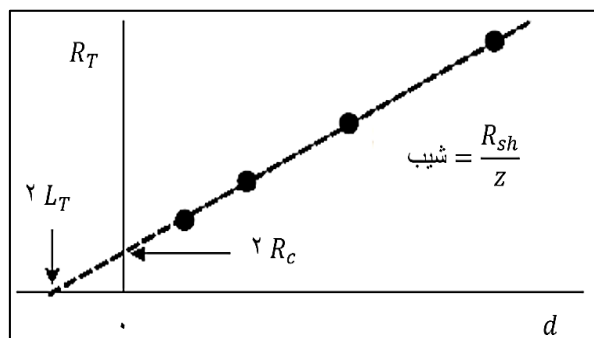
در نتیجه مقاومت کل بدست آمده به صورت زیر است [۱۱ و ۱۳]:

$$R_T = \frac{R_{sh} d}{z} + rR_c \approx \frac{R_{sh}}{z} (d + rL_T) \quad (۷)$$

با رسم نمودار مقاومت کل نسبت به فواصل جدایی مختلف و با بکارگیری رابطه (۷) می‌توان سه مشخصه مهم را از نمودار شکل ۵ بدست آورد:



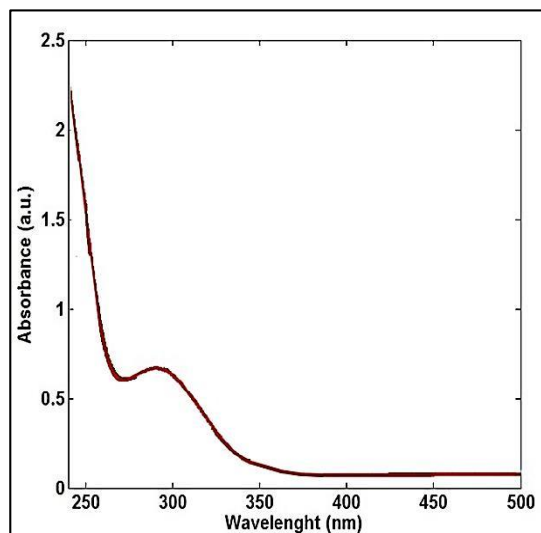
شکل (۶) ساختار طرح TLM خطی



شکل (۷) نمودار مقاومت کل نسبت به فواصل جدایی مختلف

$$E_g^{nano} \approx \frac{1240}{\lambda_p} \quad (۱)$$

که λ_p قله‌ی جذب است. بنابراین پهنای گاف نواری ۴٫۲۸ eV تخمین زده می‌شود [۱۰].



شکل (۲) طیف جذبی ZnO آلیایده شده با Al

تماس شاتکی می‌تواند از اتصال نیمه رسانای نوع n (مانند AZO) با تابع کار ϕ_s به فلز با تابع کار ϕ_m وقتی که $\phi_s < \phi_m$ باشد، ایجاد شود. از آنجا که تابع کار آلیاژ AuGeNi به صورت تقریبی ۴٫۶ eV و تابع کار ZnO به میزان آلیش ZnO در محدوده‌ی ۳/۷ eV تا ۴٫۴ eV است، پس این تماس شاتکی محسوب می‌شود [۱۱-۱۲]. نمودار نوار انرژی مربوط به این تماس در شکل ۳ نشان داده شده است. ارتفاع سد ایجاد شده $q\phi_{Bn}$ برای رفتن الکترون از فلز به نوار رسانش که به سد شاتکی معروف است، عبارت است از:

$$q\phi_{Bn} = q(\phi_m - \phi_s) \quad (۲)$$

و برای ماده‌ی نوع n مقدار تقریبی ذیل را دارد:

$$\phi_{Bn} \approx \frac{r}{2} E_g \quad (۳)$$

سد qV_{bi} که الکترون‌های درون نیمه رسانا برای عبور به سمت فلز با آن روبرو هستند، پتانسیل درون ساخت نامیده می‌شود و برابر با اختلاف بین توابع کار فلز و نیمه رساناست. این سد با اعمال بایاس خارجی قابل تغییر است و ارتفاع آن برابر است با [۱۱]:

$$qV_{bi} = q(\phi_m - \phi_s) = q[\phi_m - (\chi + V_n)] \quad (۴)$$

ساختار طرح TLM خطی در شکل ۴ نشان داده شده است. این ساختار شامل چندین پد فلزی متوالی است که فاصله‌ی آنها از هم به ترتیب زیاد می‌گردد (مثلاً به ترتیب ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۱۰۰ میکرومتر). از روش سنجش چهارپروبی می‌توان مقاومت کل بین هر دو پد متوالی را بدست آورد. از آنجایی که جریان گذرنده از پروب در مدار داخلی سیستم چهارپروبی (مدار مربوط به اندازه گیری اختلاف پتانسیل)، به دلیل مقاومت ظاهری بالای ولتاژسنج، تقریباً صفر است، می‌توان از مقاومت تماسی بین پروب و پد فلزی صرف نظر کرد. بنابراین خطای اندازه‌گیری مقاومت کل روش چهارپروبی نسبت به دو پروبی بسیار کمتر است.

۵- منابع

- [1] D. I. Son, B. W. Kwon, D. H. Park, W.-S. Seo, Y. Yi, B. Angadi, C.-L. Lee, and W. K. Choi, "Emissive ZnO-graphene quantum dots for white-light-emitting diodes," *Nat. Nanotechnol.*, vol. 7, pp. 465-471, 2012.
- [2] J. L. Gu, Y. F. Lu, J. Zhang, L. X. Chen, and Z. Z. Ye, "Ti/Ni/Ti/Au Ohmic contact and Schottky transformation to Al-doped ZnO thin films," *J. Alloy. Compd.*, vol. 556, pp. 62-66, 2013.
- [3] J. H. Kim, J. Y. Moon, H. S. Lee, W. S. Han, H. K. Cho, J. Y. Lee, and H. S. Kim, "Al/Au ohmic contact to n-ZnO by dc sputtering," *Mater. Sci. Eng B-Adv.*, vol. 165, pp. 77-79, 2009.
- [4] J.-H. Park, T.-H. Kim, N.-Y. Chang, J.-S. Kim, G.-H. Kim, and B.-T. Lee, "Microstructural investigation of Ti/Au ohmic contacts on Ga doped single crystalline n-ZnO films," *Mater. Sci. Eng. B-Adv.*, vol. 167, pp. 51-54, 2010.
- [5] L. J. Brillson, and Y. Lu, "ZnO Schottky barriers and Ohmic contacts," *J. Appl. Phys.*, vol. 109, pp. 121301, 2011.
- [6] M. Fahmideh Akbarian, "Fabrication and characterization of schottky barrier diode," M. S. dissertation, Dept. Eng., Ferdowsi Univ., Mashhad, Iran. 2002.
- [7] S. Olyae, "Review on semiconductor physics" in *An Introduction to Photonics*, Shahid Rejaee Teacher Training University, 2009, pp. 296.
- [8] A. Dujavova-Laurencikova, S. Hasenohrla, P. Elias, R. Stoklas, M. Blaho, I. Novotny, Z. Krizanova, and J. Novak, "Ohmic contacts to p-GaP/n-ZnO core/shell nanowires based on Au metallization," *Appl. Surf. Sci.*, vol. 269, pp 60-64, 2013.
- [9] N. K. Reddy, Q. Ahsanulhaq, J. H. Kim, M. Devika, and Y. B. Hahn, "Selection of non-alloyed ohmic contacts for ZnO nanostructure based devices," *Nanotechnology*, vol. 18, pp. 445710, 2007.
- [10] B. Efañ, M. Sasani Ghamsari, M. A. Aberoumand, M. H. Majles Ara, and H. Hojati Rad, "Highly concentrated ZnO sol with ultra-strong green emission" *Mater. Lett.*, vol. 111, pp78-80, 2013.
- [11] Kh. Eslami Jahrimi, "Investigation and Optimization of Metal-Semiconductor Ohmic Contacts on Doped ZnO Nanostructures" M. S. dissertation, Dept. Phys., Kharazmi Univ., Tehran, Iran. 2014.
- [12] F. Dubecký, J. Oswald, D. Kindl, P. Hubík, E. Gombia, A. Šagátová, P. Boháček, M. Sekáčová, V. Nečas and J. Mudroň, "photocurrent spectroscopy of semi-insulating gaas m-s-m diodes with a new contact metallization" in *APCOM*, Štrbské Pleso, Slovakia, 2014, pp. 214-218.
- [13] D. K. Schroder, "Contact resistance and schottky barriers," in *Semiconductor Material and Device Characterization*, 145, New Jersey, John Wiley & Sons, 2006, pp. 127-184

$$1- \text{شیب نمودار: } R_T = \frac{R_{sh}}{Z}$$

$$2- \text{در } d = 0 \text{ عرض از مبدا برابرست با: } r_{R_C}$$

$$3- \text{در } R_T = 0 \text{ فاصله از مبدا برابرست با: } r_{L_T} = -d$$

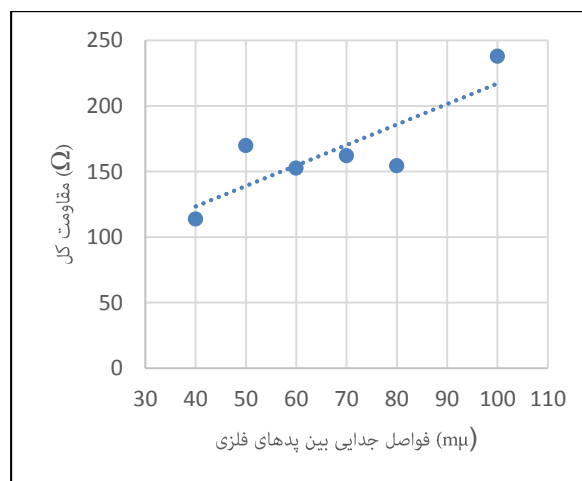
بنابراین برای بدست آوردن مقاومت تماسی بین فلز و نیمه رسانا کافی است مقاومت کل بین پدهای فلزی قرار گرفته روی نیمه‌رسانا که در فواصل مختلفی از یکدیگر قرار دارند را از روش مشخصه‌یابی چهار پروبی اندازه‌گیری کرد، نتایج بدست آمده به صورت جدول ۱ است. می‌توان با رسم نمودار مقاومت کل برحسب فواصل جدایی همانند شکل ۵، مقاومت تماسی که با نصف عرض از مبدا برابر است را بدست آورد (شکل ۶). همچنین مقاومت تماسی ویژه به صورت زیر قابل محاسبه است [۱۱]:

$$(8) \quad \rho_c = ZL_T^2 \times \text{شیب نمودار}$$

با توجه به نمودار بالا و محاسبه‌ی شیب و عرض از مبدا و استفاده از فرمول‌های ذکر شده مقاومت تماسی ویژه برابرست با $71.3 \, \Omega \cdot \text{cm}^2$. همچنین مقاومت صفحه‌ای $150 \, \Omega$ بدست آمده است.

جدول ۱) نتایج مقاومت کل بین پدهای با فواصل جدایی مختلف

فاصله‌ی جدایی (میکرون)	مقاومت (اهم)
۴۰	۱۱۳,۷۰۸
۵۰	۱۶۹,۷۹۰
۶۰	۱۵۲,۵۳۳
۷۰	۱۶۲,۱۰۸
۸۰	۱۵۴,۴۱۴
۱۰۰	۲۳۷,۸۵۹



شکل ۸) نمودار مقاومت کل برحسب فواصل جدایی برای نمونه مورد بررسی

۴- نتایج

ما در این مقاله مقاومت تماسی ویژه تماس فلز آلیاژی AuGeNi به نانو ساختار ZnO نوع بخشنده سنتز شده به روش سل-ژل را از طریق الگوی TLM خطی بدست آوردیم. بیشینه‌ی جذب سل تهیه شده در $290 \, \text{nm}$ و پهنای گاف نواری $4.28 \, \text{eV}$ بدست آمده است. مقاومت تماسی ویژه $71.3 \, \Omega \cdot \text{cm}^2$ و مقاومت صفحه‌ای نیز $150 \, \Omega$ گزارش گردید.