بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز

مطالعه نظری خواص الکتریکی دیود شاتکی Au/n-GaN

زهره کردقاسمی و حسین عشقی

دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود

چکیده- دراین تحقیق مشخصه *I-V* مربوط به دیود شاتکی *Au/n-GaN* در گستره دمایی ۱۰۰- *K* ۳۵۰ مورد مطالعه قرار گرفته است. کمیت های گوناگون مانند: بزرگی ارتفاع سد φ_{b0} ،ضریب ایده آلی *n* و مقاومت متوالی R_s قطعه با استفاده از نظریه گسیل گرمایونی *(TE)* و به روش چانگ مبتنی بر یک ارتفاع سد پتانسیل ثابت تعیین شدند. دریافتیم نظریه تعمیم یافته گسیل گرمایونی با در نظر گیری وجود ارتفاع سد ناهمگون (با توزیع گوسی) نه تنها در بردارنده نتایج نظریه مقدماتی است بلکه به خوبی برآورنده بزرگی ضریب موثر ریچاردسون در این پیوندگاه است.

کلید واژه ها: دیود شاتکی، *n-GaN*، گسیل گرمایونی، مشخصه الکتریکی، نظریه سد ناهمگون

Theoretical study of the electrical properties of Au/n-GaN Schottky diode

Zohreh Kordghasemi, Hosein Eshghi

Department of Physics, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.

Abstract- In this research, we have studied the temperature dependence (100-350 K) of I-V characteristics in Au/n-GaN Schottky diode. Various quantities such as: barrier height (φ_{b0}), ideality factor (n) and series resistance (R_s) of the device are determined on the basis of a constant barrier height using thermionic emission theory (TE) by Chang's method. We found the extended thermionic emission theory considering an inhomogeneous (Gaussian distribution) barriers not only provide the preliminary theory results, but also lead to the correct value for the effective Richardson coefficient.

Keywords: Shottky diode, n-GaN, Thermionic emission, Electrical characteristics, Inhomogeneous barrier theory.

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

۱-مقدمه

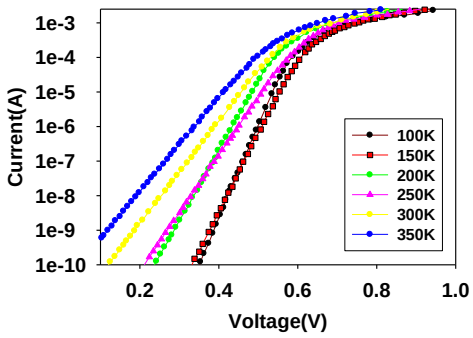
مطالعات زیادی درباره مشخصه های الکتریکی دیودهای شاتکی انجام شده است. GaN از جمله نیمرساناهایی است که به دلیل بزرگی گاف نواری آن (در حدود ۳ eV) همچنین قابلیت تحمل میدان الکتریکی بالا و نیز سرعت اشباع بالای الکترونی در آن، برای بکار گیری در قطعات گوناگون نظیر لیزر های فرابنفش، آشکارساز های نوری، دیود های نور گسیل و نیز قطعات الکترونیکی در دما های بالا در سال های اخیر مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته است [۱].

ما در این تحقیق به طور نظری به بررسی مشخصه جریان – ولتاژ یک نمونه از دیود شاتکی Au/n-GaN که توسط جون لین و همکاران [۲] در محدوده دمایی K ۱۰۰-۳۵۰ گزارش شده است بر مبنای نظریه گسیل گرما یونی تعمیم یافته مبتنی بر وجود یک توزیع ارتفاع سد پتانسیل در محل سطح مشترک مورد تجزیه و تحلیل قرار دادیم که مدلی کاملتر در مقایسه با مدل ارتفاع سد پتانسیل ثابت می باشد که توسط محقق در مقاله خود به کار گرفته است.

نمونه مورد مطالعه متشکل از یک لایه نیمرسانای GaN با ضخامت ۱/۲ μm آلایش شده با اتم های Si بر روی زیر لایه سفایر تهیه و بر روی آن لایه ای از طلا به ضخامت ۱۰۰ nm به روش تبخیر پرتو الکترونی به شکل نقاط دایره ای با قطر ۲۰۰ μm قرار گرفته است [۲].

۲-نتایج و بحث

شکل ۱ مشخصه نیم لگاریتمی I-V دیود شاتکی Au/n-GaN را تحت شرایط دمایی مختلف (K ۱۰۰-۳۵۰) نشان می دهد.



شکل ۱: داده های تجربی مشخصه I-V در شرایط بایاس مستقیم در دیود Au/n-GaN در دماهای مختلف [۲].

در دیود های شاتکی عبور جریان غالبا از نظریه گسیل گرما یونی به صورت زیر تبعیت می کند [۳]:

$$I = I_0\left[\exp\{\frac{q(V-IR_S)}{nkT}\}-1\right] \quad (۱)$$

که در آن q بارالکترونی، k ثابت بولتزمن، T دمای مطلق، n ضریب ایده آلی، R_S مقاومت متوالی دیود و I_0 جریان اشباع معکوس است که از رابطه زیر به دست می آید:

$$I_0 = AA^*T^2\exp\left(\frac{-q\varphi_{b0}}{kT}\right) \quad (۲)$$

که در آن A^* ضریب موثر ریچاردسون (برای GaN نوع n برابر $۲۶/۴\ Acm^{-2}K^{-2}$)، A مساحت دیود و φ_{b0} ارتفاع سد در شرایط بایاس صفر است. علاوه بر این ضریب ایده آلی قطعه نیز می تواند به ازای جریان های پایین به کمک همین معادله و بازنویسی آن به صورت:

$$n = \frac{q}{kT}\left(\frac{dV}{d(\ln I)}\right) \quad (۳)$$

و تعیین شیب نمودار V-lnI بدست آورد. همچنین با استفاده از معادله (۲) می توان ارتفاع سد را به کمک رابطه زیر تعیین کرد:

$$\varphi_{b0} = \frac{kT}{q}\ln\left[\frac{AA^*T^2}{I_0}\right] \quad (۴)$$

به منظور تعیین مقاومت متوالی می توان به روش چانگ [۴] با استفاده از رابطه:

$$\frac{dV}{d(\ln I)} = n\frac{kT}{q} + IR_S \quad (۵)$$

و تعیین شیب نمودار d V/d ln(I) بر حسب I مقدار R_S را بدست آورد. نتیجه این محاسبات برای نمونه مورد بررسی در جدول ۱ ارایه گردیده است.

جدول ۱: نتایج محاسبات مربوط به پارامتر های مختلف در دیود Au/n-GaN در دماهای مختلف.

T (K)	n	φ_{b0}(eV)	$R_S(\Omega)$
۱۰۰	۲/۰۱	۰/۳۹	۱۵۷
۱۵۰	۱/۵۶	۰/۵۷	۱۰۲
۲۰۰	۱/۳۶	۰/۶۵	۹۶
۲۵۰	۱/۲۲	۰/۷۹	۸۲
۳۰۰	۱/۱۷	۰/۸۶	۸۸
۳۵۰	۱/۰۷	۰/۹۴	۹۱

این نحوه تغییرات نشانگر وابستگی این کمیت ها با دما بوده به طوری که با افزایش دما ضریب ایده آلی رو به

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

کاهش و ارتفاع سد شاتکی در محل فصل مشترک رو به افزایش است. اگر چه تغییرات رو به کاهش ضریب ایده آلی با افزایش دما با توجه به گزارشات دیگر محققین در دیود شاتکی Ni/n-GaAs امری منطقی است، لکن تغییرات افزایشی سد پتانسیل با توجه به روند رو به کاهش گاف نواری این ماده در دماهای بالا امری غیر عادی به نظر می رسد. این رفتار غیر عادی چنانچه توسط هوداییت و همکاران [۵] در نمونه Au/n-GaAs مورد مطالعه قرار گرفته است. با در نظر گرفتن یک توزیع عرضی در ارتفاع سد قابل بررسی است. در واقع این توزیع ناهمگون عرضی در بزرگی ارتفاع سد ها می تواند متاثر از مرز دانه ها، نواقص شبکه ای و روی هم چینی صفحات بلوری و حضور فازهای بلوری متفاوت در نمونه در محل فصل مشترک باشد [۶].

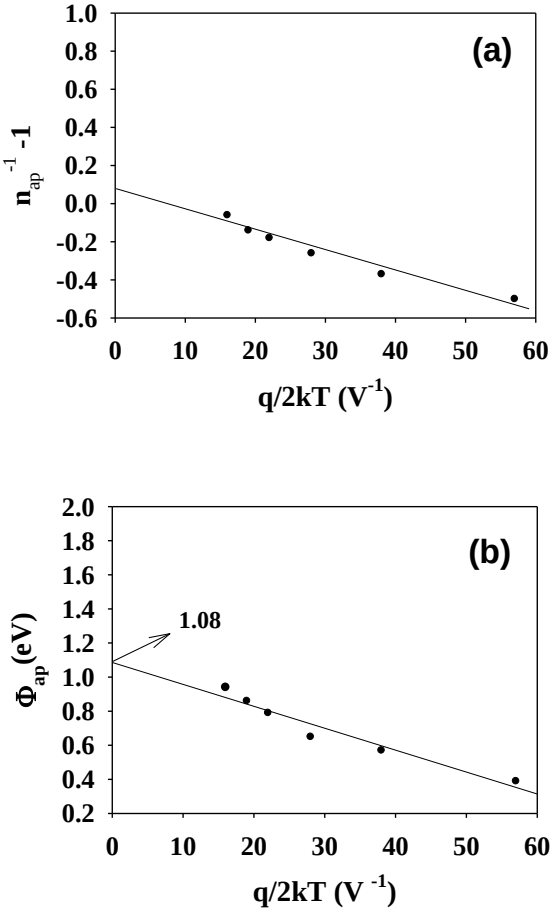
به منظور تحلیل دقیق تر این پارامتر (φ_{b0}) می توان معادله (۱) را، که در شرایط با ارتفاع سد پتانسیل ثابت و عاری از افت وخیز صادق است و در این شرایط مقدار ضریب ایده آلی برابر یک می باشد (n=1)، تعمیم داد و روابط زیر را بدست آورد [۶ و ۷]:

$$\varphi_{ap} = \bar{\varphi}_{b0}(T=0) - \frac{q\sigma_0^2}{2kT} \qquad (۹)$$

$$\left(\frac{1}{n_{ap}} - 1\right) = \rho_2 - \frac{q\rho_3}{2kT} \qquad (۱۰)$$

که در آن φ_{ap} وn_{ap} به ترتیب نشانگر ارتفاع سد ظاهری وضریب ایده آلی ظاهری بوده و σ_0 انحراف معیار توزیع و کمیت های ρ_2 و ρ_3 مقادیر ثابت و در محاسبات ما به عنوان پارامتر های برازشی محسوب شده اند. این کمیت ها موسوم به ضرایب ولتاژی، تغییرات وابسته به ولتاژ توزیع ارتفاع سد را تعیین می کنند.

شکل ۲ (الف) تغییرات دمایی ضریب ایده آلی ظاهری (مبتنی بر معادله ۱۰) را برحسب عکس دما نشان می دهد. چنانچه انتظار می رود داده ها بر روی خط مستقیم قرار دارند به طوری که مقادیر برازشی وابسته از طریق عرض از مبدا و شیب نمودار به ترتیب ρ_2 = ۰/۰۵۸ و ρ_3 = -۰/۰۱ V بدست می آید. همچنین شکل ۲ (ب) نمودار تغییرات φ_{ap} برحسب $q/2kT$ را نشان می دهد که قابل برازش با خط مستقیمی است که از شیب و همچنین عرض از مبدا آن می توان به ترتیب σ_0 = 0.11 V و $\bar{\varphi}_{b0}$ = 1.08 eV را تعیین کرد. در حقیقت مقدار σ_0 نشانگر میزان انحراف بزرگی سد پتانسیل شاتکی در محل فصل مشترک از مقدار میانگین آن و در نتیجه میزان ناهمگنی آن در سطح دیود مورد نظر می باشد.



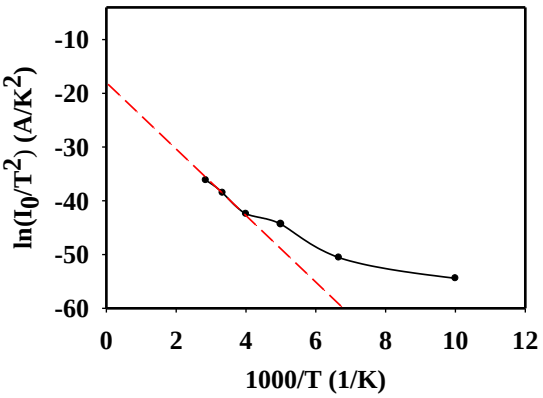
شکل ۲: (الف) تغییرات ضریب ایده آلی و (ب) ارتفاع سد ظاهری بر حسب $q/2kT$ در دیود شاتکی Au/n-GaN مبتنی بر توزیع گوسی ارتفاع سد.

به منظور دریافت اعتبار این نظریه و راستی آزمایی آن می توان با استفاده از مقادیر جریان معکوس این نمونه در دماهای مختلف بر حسب عکس دما و با توجه به معادله (۲) که می تواند به صورت:

$$\ln\left(\frac{I_0}{T^2}\right) = \ln\left(AA^*\right) - \frac{q\varphi_{b0}}{kT} \qquad (۱۱)$$

نوشته شود (موسوم به نمودار ریچاردسون) به شیوه ای مستقل با روش یاد شده قبلی به محاسبه ارتفاع سد و نیز بزرگی ضریب ریچاردسون اقدام نمود. نتیجه این محاسبات در شکل ۳ نشان داده شده است.

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



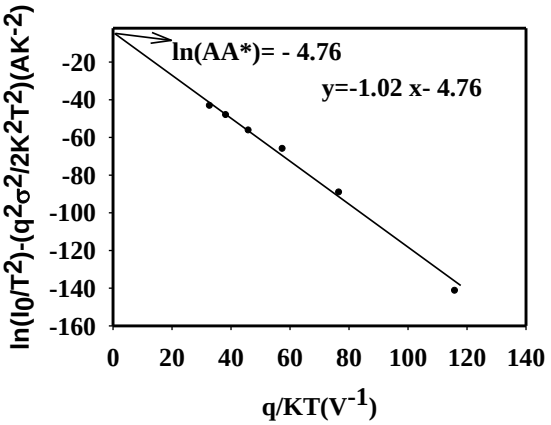
شکل ۳: نمودار ریچاردسون وابسته به تغییرات $\ln(I_0/T^2)$ برحسب 1000/T مربوط به دیود شاتکی Au/n-GaN.

با استفاده از عرض از مبدا این نمودار ضریب ریچاردسون و به کمک شیب آن ارتفاع سد به ترتیب برابر با $A^*= 4.25\times10^{-5}A.cm^{-2}K^{-2}$ و $\varphi_{b0}=0.42$ eV به دست می آید. چنانچه ملاحظه می شود مقدار A^* از مقدار واقعی آن که برابر $26.24\ Acm^{-2}K^{-2}$ گزارش شده است بسیار کوچکتر می باشد. این انحراف در مقدار ضریب موثر ریچاردسون می تواند ناشی از در نظر گرفتن ارتفاع سد ثابت در محل سطح مشترک فلز / نیمرسانا باشد.

با فرض توزیع گوسی ارتفاع سد و با توجه به انحراف معیار بدست آمده در محاسبات قبلی می توان نمودار اصلاح شده ریچاردسون را بر اساس رابطه:

$$\ln\left(\frac{I_0}{T^2}\right)-\left(\frac{\sigma_0^2q^2}{2k^2T^2}\right)=\ln\left(AA^*\right)-\frac{q\bar{\varphi}_{b0}}{kT} \qquad (۱۲)$$

رسم کرد (شکل ۴). همانگونه که مشاهده می شود نمودار بدست آمده خط مستقیمی است که شیب و عرض از مبدا آن به ترتیب متناظر با: $\bar{\varphi}_{b0}=1.02\ eV$ و $A^*=27.27\ Acm^{-2}K^{-2}$ است. چنانچه پیداست علاوه بر اینکه مقدار $\bar{\varphi}_{b0}$ به دست آمده از این طریق بسیار نزدیک به مقدار بدست آمده از شکل ۲ (ب) بوده و علاوه بر این مقدار بدست آمده برای A^* نیز تا حد زیادی به مقدار واقعی آن یعنی $26.24\ Acm^{-2}K^{-2}$ نزدیک است. بدین ترتیب این نتایج می تواند موید نظریه وجود یک توزیع گوسی برای ارتفاع سد در محل فصل مشترک فلز / نیمرسانا باشد.



شکل۴: نمودار اصلاح شده ریچاردسون مربوط به دیود شاتکی Au/n-GaN.

۳-نتیجه‌گیری

در این تحقیق ما به تحلیل نظری داده های برگرفته از مشخصه I-V دیود Au/n-GaN در دماهای مختلف پرداختیم و پارامتر های فیزیکی دخیل در این مشخصه ها را بر حسب تابعی از دما مورد بررسی قرار دادیم. تحلیل نظری داده ها نشان داد که رفتار الکتریکی قطعه مورد نظر به خوبی با نظریه مبتنی بر ناهمگونی توزیع ارتفاع های سد پتانسیل در محل فصل مشترک سازگار می باشد. موید این نتیجه گیری محاسبات مربوط به تعیین مقدار ثابت موثر ریچاردسون (A^*) و همچنین ارتفاع میانگین ($\bar{\varphi}_{b0}$) با استفاده از فرضیات ارتفاع سد پتانسیل ثابت و نیز ارتفاع سد ناهمگون بر پایه توزیع گوسی است.

مراجع

[1] S. Nakamura, T. Mukai, M. Senoh, *Candela-class high-brightness InGaN/AlGaN double-heterostructure blue-light-emitting diodes*, **Appl. Phys. Lett.** 64 (1994) 28.

[2] Y.J. Lin, *Origins of the temperature dependence of the series resistance, ideality factor and barrier height based on the thermionic emission model for n-type GaN Schottky diodes*, **Thin Solid Films** 519 (2010) 829.

[3] D.K. Schroder, *Semiconductor Materials and Device Characterization*, second ed., John Wiley & Sons, Inc., 1998.

[4] S.K. Cheung, N.W. Cheung, *Extraction of Schottky diode parameters from forward current-voltage characteristics*, **Applied Physics Letters** 49 (1986) 85.

[5] M.K. Hudait, P. Venkateswarlu, S.B. Krupanidhi, *Electrical transport characteristics of Au/n-GaAs Schottky diodes on n-Ge at temperatures*, **Solid-State Electronics** 45 (2001) 133.

[6] H.J. Werner, H.H. Guttler, *Barrier inhomogeneities at Schottky contacts* **J. Appl. Phys.** 69 (1991) 1522.

[7] S. Zhu, R.L. Van Meirhaeghe, C. Detavernier, F. Cardon, G.P. Ru, X.P. Qu, B.Z. Li, *Barrier height inhomogeneities of epitaxial CoSi2 Schottky contacts on n-Si (100) and (111)*, **Solid State Electron.** 44 (2000) 663.

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