

تأثير درجات الحرارة الواطئة على خصائص تيار فولتية لنباط شوتكي GaAs

Low temperature effect on the I-V properties for GaAs Schottky Devices

براق يحيى كاظم / رحيم كعيد كاظم / محسن كاظم عبد

قسم الفيزياء / كلية العلوم / جامعة بابل

burakwh@yahoo.com

الخلاصة :

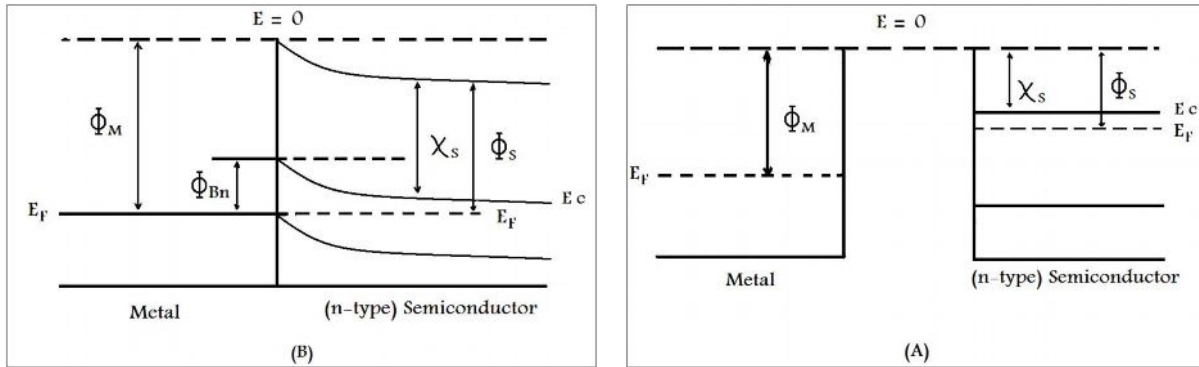
لقد قمنا بهذا البحث بتحضير نباط شوتكي بتماسات مختلفة حيث تم اختيار الأرضية (Substrate) من شبه الموصل نوع أرسنيد الكاليوم المانح (n-Type GaAs) ذو مقاوميه (2×10^{-6} Ohm.cm) والألفة الإليكترونية له (4.07 eV) واختيار معدني الألمنيوم والذهب حيث تم تصنيع ثلاث نماذج مختلفة هي نموذج شوتكي بتماس (Al / GaAs) وبتماس أومي معدن الألمنيوم وتحضير نموذج شوتكي بتماس (Al / GaAs) وبتماس أومي سبيكة جرمانيوم ذهب بنسبة (0.12 - 0.88) على التوالي وتحضير نموذج شوتكي بتماس (Au / GaAs) وبتماس أومي سبيكة جرمانيوم ذهب بنفس النسب السابقة على التوالي حيث تم عمل التماس الأومي أولاً من ثم عمل تماس شوتكي للنماذج السابقة الذكر بواسطة منظومة الفراغ وتحت ضغط (10^{-5} تور) وسمك للغشاء بحدود (100 \AA) ومن ثم إجراء التلدين الحراري لها تحت درجة (673 K) ولمدة نصف ساعة ، من ثم قياس قيم تيار فولتية بتأثير الأنحياز الأمامي والعكسي وتم منها حساب قيم تيار الإشباع للنماذج الثلاث وارتفاع حاجز شوتكي وعامل المثالية عند درجة حرارة الغرفة ودرجات حرارة واطئة باستخدام منظومة الكريوستات التي تتحكم بانخفاض درجة الحرارة بواسطة سائل النيتروجين وتحت ضغط (10^{-5} تور) وتم دراسة مدى تأثير هذه العوامل بدرجة الحرارة وتأثير نوع التماس الأومي المستخدم .

Abstract :

Schottky devices had been prepared in our search by choosing the n-type GaAs as a semiconductor substrate with resistivity (2×10^{-6} Ohm.cm) and electron affinity (4.07 eV) and we choose two type of metal (Al, Au), the Schottky devices we prepared are {Al/GaAs with Al Ohmic contact}, {Al/GaAs with (Ge-Au) alloy with rate (0.12-0.88) as Ohmic contact} and {Au/GaAs with (Ge-Au) alloy with the same rate as Ohmic contact}, first we made the Ohmic contact then we made the Schottky contact by vacuum system evaporation under pressure (10^{-5} Torr) and the film thickness was (100 \AA) then we annealed the samples under (673 K) for 30 min. after that we measured the I-V characteristics under forward and revers bias then we found the saturation current for the samples, Schottky barrier heights, ideality factor at room and low temperatures by using Cryostat System which contain liquid N_2 under pressure (10^{-5} Torr) then we study the temperature effect on these parameters and the Ohmic contact effect.

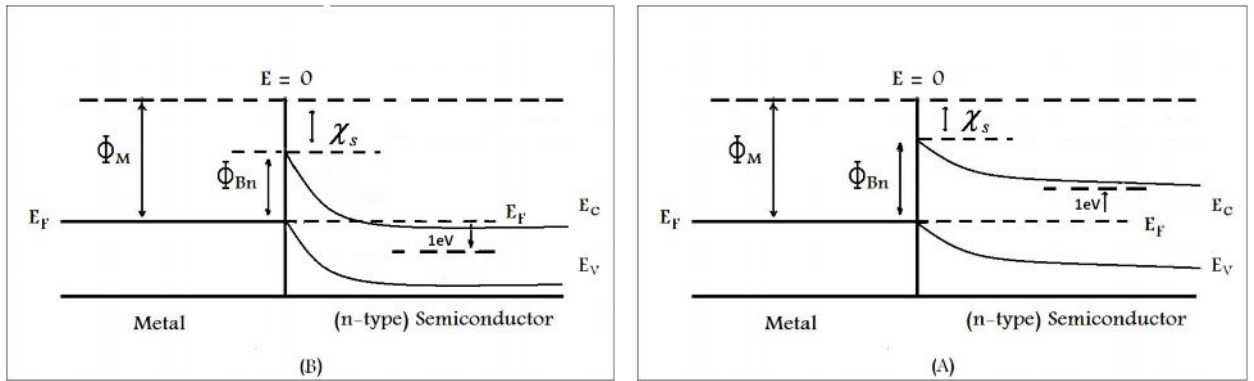
الجزء النظري :

عند تماس المعدن مع شبه الموصل (مانح) حيث دالة شغل المعدن أكبر من الألفة الأليكترونية لشبه الموصل فإن مستوى فيرمي لشبه الموصل سيكون أعلى من مستوى فيرمي للمعدن قبل التماس ولكي يتساوى مستويي فيرمي فإن الجهد الأليكتروستاتيكي لشبه الموصل يجب أن يزداد (طاقة الأليكترون تقل) بالنسبة للمعدن ويكون التماس مقوم ويتكون حاجز جهد لانتقال الشحنات من وإلى شبه الموصل ويعرف الحاجز بحاجز شوتكي ويبين الشكل (1) مخطط لحزم الطاقة لمعدن وشبه موصل (مانح) قبل التماس وبعد التماس (1,2).



شكل (1) يبين مخطط الطاقة لمعدن – شبه موصل (مانح) -A قبل التماس -B بعد التماس (الاتزان الحراري)

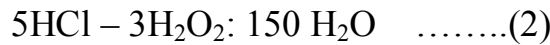
أما إذا كان التماس بين المعدن وشبه الموصل غير مقوم فيعتبر التماس أومي (Ohmic Contact) حيث يمكن أن نحصل على التماس الأومي عندما تكون قيمة مقاومة التماس صغيرة جداً أو شبه معدومة وأن يكون التماس الأومي غير مؤثر على أداء النبطية أي يمرر التيار خلاله بدون هبوط للفولتية (أو ضئيل جداً) حيث التماس الأومي يكون ذو مقاومة واطئة والتيار المار خلاله هو دالة خطية للفولتية المسلطة التي يجب أن تكون صغيرة (1,3) إن لدرجة الحرارة تأثير كبير على أداء النبطية ففي كلتا حالتها الانحياز الأمامي والعكسي تعتمد قيم تيار الانتشار (Diffusion Current) والتيار التولد – إتحاد (Recombination Current) بدرجة كبيرة على درجة الحرارة فعند درجات الحرارة الواطئة يهيمن تيار التولد ويتناسب التيار العكسي مع $\frac{1}{2} (VR)$ ويزيادة درجة الحرارة إلى فوق (443 K) يميل التيار إلى الإشباع عند فولتيات $VR \geq (3KT/q)$ وعندها يهيمن تيار الانتشار. (4) عند تسليط فولتية سالبة على شبه الموصل (المانح) بالنسبة للمعدن فإن الطاقة الكامنة لاليكترونات حزمة التوصيل في عمق منطقة شبه الموصل ستزداد ويزاح مستويي فيرمي إلى الأعلى بمقدار (1eV) وبما إن طاقة الكترونات حزمة التوصيل ثابتة عند التماس فإن ازدياد الطاقة سوف يستمر ويحتاجه كل إلكترون لكي يصل إلى المستوى المرجعي وإن حاجز الجهد لتدفق الكترونات من شبه الموصل إلى المعدن باتجاه التماس سيتناقص مما يؤدي إلى زيادة في التيار المار في شبه الموصل إلى المعدن وبما إن حاجز الجهد لانحياز الصفر يكون صغيراً ويساوي جزء من (1 eV) ويجعل منطقة شبه الموصل سالبة بفولتيته صغيرة نسبياً مسبباً تيار عالي خلال التماس ويكون التماس في حالة انحياز إمامي كما في الشكل (A-2) ، أما عند تسليط فولتية موجبة على شبه الموصل بالنسبة للمعدن فإن حاجز جهد تدفق الإليكترونات لمنطقة المعدن وفجوات شبه الموصل لعبور التماس يبقى ثابت مع الانحياز ولكن حاجز فجوات المعدن واليكترونات شبه الموصل سيزداد لأن الطاقة الكامنة لاليكترونات حزمة التوصيل في عمق منطقة شبه الموصل سيتناقص لذا فإن مستوى فيرمي سيزاح إلى الأعلى بطاقة (1eV) ولذلك فإن تيار اليكترونات شبه الموصل والتيار فجوات المعدن سيتناقص وسيكون جهد التماس منحاز عكسياً ويجعل منطقة شبه الموصل موجبة كما في الشكل (B-2) (5)



شكل (2) تأثير الانحياز على تماس معدن - شبه موصل (مانح) A- انحياز أمامي B- انحياز عكسي

الجزء العملي

تم تهيئة النماذج المعدة لهذا البحث باستخدام شرائح من أرسنيد الكاليوم GaAs ذو مقاومة (2×10^{-6} Ohm.cm) والألفة الإليكترونية له (4.07 eV) وتم تصنيع ثلاث نماذج مختلفة هي نموذج شوتكي بتماس (Al / GaAs) وبتماس أومي معدن الألمنيوم وتحضير نموذج شوتكي بتماس (Al / GaAs) وبتماس أومي سبيكة جرمانيوم ذهب⁽⁶⁾ بنسبة (0.12 - 0.88) على التوالي وتحضير نموذج شوتكي بتماس (Au / GaAs) وبتماس أومي سبيكة جرمانيوم ذهب بنفس النسب السابقة على التوالي ، وتتم عملية التنظيف الكيميائي بواسطة محلول ترائي كلورو اثيلين (T.C.E.) لمدة خمس دقائق⁽⁶⁾ والثاني ايزوبروبيل الكحول (I.P.A) ولمدة خمس دقائق أيضاً على الشريحة لإزالة بعض المواد العضوية الموجودة على السطح والمرحلة النهائية للتنظيف تتم باستخدام الماء المقطر والأسيتون ولمدة خمس دقائق. بعد ذلك تتم عملية إزالة الاوكسيد التلقائي على سطح الشريحة بواسطة محلول يحتوي على خليط من المواد وبالنسب المحددة أدناه:



H_2O : الماء الأيوني ، H_2O_2 : بيروكسيد الهيدروجين ، HCl حامض الهيدروكلوريك

بعد ذلك يتم تصنيع النبيلة والتي تكون على مرحلتين الأولى هي الحصول على التوصيل الأومي عن طريق ترسيب معدن أو السبيكة فوق سطح شبه الموصل وللحصول على التوصيل الأومي الجيد يجب الحفاظ على نظافة السطح الخلفي لارسنيد الكالسيوم وذلك بعملية الإزالة لطبقة الاوكسيد المتكونة تلقائياً على سطح GaAs التي من الممكن إن تسبب تغيرات في مقاومة التوصيل الأومي. إما المرحلة الثانية من تحضير النبائط وتتم في هذه العملية ترسيب المعدن للحصول على تماس شوتكي مع شبه الموصل بتماس نقطة وذلك بوضع الماسك المناسب على الطرف الآخر للنموذج وتثبيته ووضع داخل حاوية الفراغ وتحت ضغط (10^{-5} تور) وسمك للغشاء بحدود (100 Å) ومن ثم إجراء التلدين الحراري لها تحت درجة (673 K) ولمدة نصف ساعة ، من ثم تم قياس قيم تيار فولتية بتأثير الأنحياز بين الأمامي والعكسي وتم منها حساب قيم تيار الإشباع للنماذج الثلاث من المعادلة التالية:⁽⁷⁾

$$I_0 = SA * T^2 \exp [- q\Phi_B / kT] \dots\dots\dots(1)$$

حيث I_0 تيار الاشباع ، Φ_B هو ارتفاع حاجز شوتكي ، n عامل المثالية ، A^* ثابت ريتشاردسون وهو لارسنيد الكاليوم S ، المساحة الفعالة. كما تم حساب ارتفاع حاجز شوتكي وعامل المثالية عند درجة حرارة الغرفة ودرجات حرارة واطئة باستخدام منظومة الكريوستات التي تتحكم بانخفاض درجة الحرارة بواسطة سائل النيتروجين وتحت ضغط 10^{-5} تور) باستخدام المعادلتين التاليتين :

$$\Phi_B = (KT/q) \ln (A^*T^2 / I) \dots\dots (2)$$

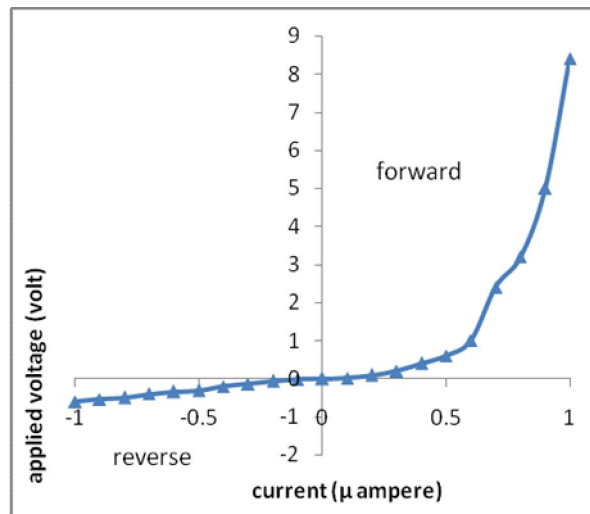
$$n = q / KT [dv/d (\ln I)] \dots\dots (3)$$

وبعد إجراء قياسات تيار فولتية في حالة الانحياز الأمامي والعكسي كانت النتائج كالتالي :

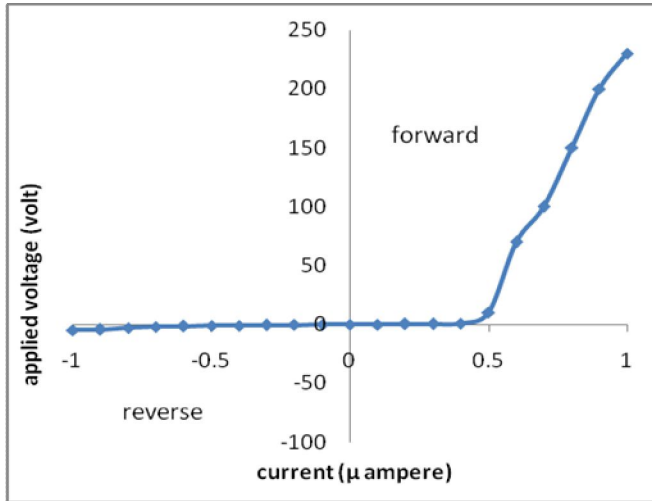
أولاً : عند درجة حرارة الغرفة كانت النتائج كما في الجدول التالي أنظر الأشكال (3)،(4)،(5) :

النموذج	ارتفاع حاجز الجهد Φ_B	عامل المثالية n
(Al / GaAs) وبتماس أومي معدن الألمنيوم	0.844 eV	1.30
(Al / GaAs) وبتماس أومي سبيكة جرمانيوم ذهب	0.830 eV	1.20
(Au / GaAs) وبتماس أومي سبيكة جرمانيوم ذهب	0.886 eV	1.19

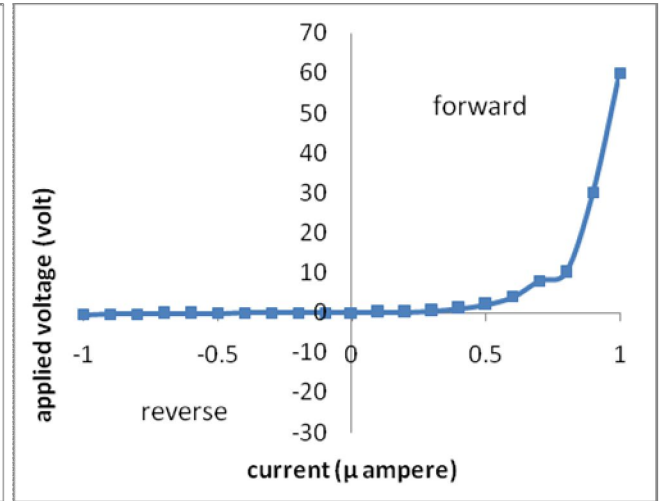
يمكن تعزيزية سبب زيادة التيار في حالة الانحياز الأمامي إلى إن عرض منطقة النضوب ينقص مع زيادة الفولتية الأمامية وعلى العكس في حالة الانحياز العكسي ، ونلاحظ من الأشكال (3) و (4) انه قيمة التيار ازدادت مع تغيير التماس الأومي وهذا يدل على أن مقاومة التوالي قد نقصت ، ومن الأشكال (3) و (4) و (5) نلاحظ أن قيمة عامل المثالية تدل على إن آلية نقل التيار هي الانبعاث الأيوني الحراري ، أما قيمة حاجز الجهد فقد تأثرت بدالة شغل المعدن عندما استبدلنا معدن الذهب بديلاً لمعدن الألمنيوم .



شكل (3) مخطط تيار فولتية لتمامس (Al/GaAs) بتمامس أومي Al



شكل (5) مخطط تيار فولتية لتماس (Au/GaAs)



شكل (4) مخطط تيار فولتية لتماس (Al/GaAs)

بتماس أومي سبيكة (Ge-Au)

بتماس أومي سبيكة (Ge-Au)

ثانياً : عند درجات حرارة أوطأ من درجة حرارة الغرفة K (110 - 300) كانت النتائج كالآتي :

1. يبين الجدول التالي خصائص نموذج (Al / GaAs) وبتماس أومي معدن الألمنيوم أنظر الشكل (6):

درجة الحرارة T K	تيار الإشباع I_0 (amp)	ارتفاع حاجز الجهد Φ_B (eV)	عامل المثالية n
300	5×10^{-9}	0.844	1.32
250	2×10^{-9}	0.860	1.39
210	1×10^{-9}	0.870	1.44
170	3×10^{-10}	0.890	1.51
120	8.5×10^{-10}	0.900	1.71

نلاحظ إن قيم التيار قد نقصت مع نقصان درجة الحرارة وبالتالي فإنه قيم ارتفاع الحاجز ستتغير مع درجة الحرارة تغيراً طفيفاً والآلية المسيطرة لنقل التيار هي تيار الانبعاث الأيوني الحراري عندما تكون درجة الحرارة قريبة من درجة حرارة الغرفة وعامل المثالية قريب من (1) ، أما عند درجات حرارية واطئة فإن عامل المثالية يكون قريب من (2) والميكانيكية المسيطرة لنقل التيار هي تيار التولد - اتحاد .

2- يبين الجدول التالي خصائص نموذج (Al / GaAs) وبتماس أومي معدن سبيكة جرمانيوم ذهب أنظر الشكل (7):

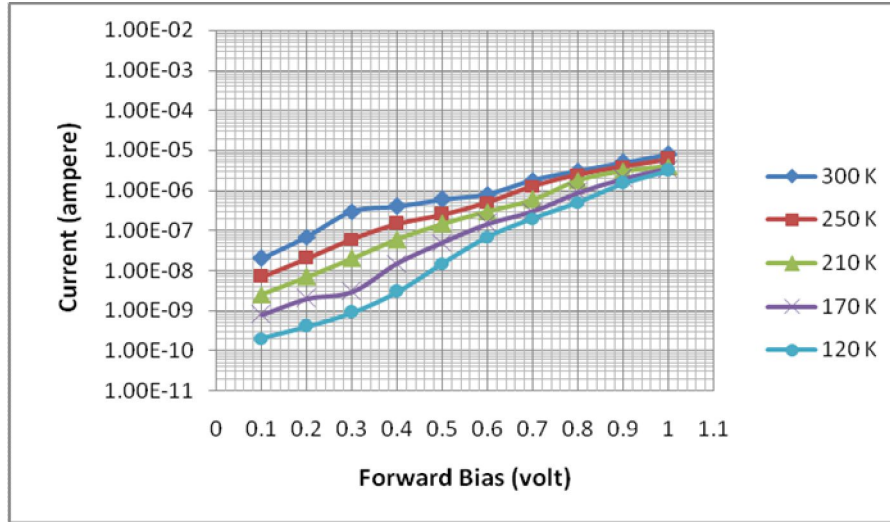
درجة الحرارة T°K	تيار الإشباع I _o (amp)	ارتفاع حاجز الجهد Φ _B (eV)	عامل المثالية n
300	7.5 x10 ⁻⁹	0.830	1.2
270	3.8 x10 ⁻⁹	0.846	1.33
230	2 x 10 ⁻⁹	0.860	1.4
190	7 x10 ⁻¹⁰	0.870	1.48
150	4 x10 ⁻¹⁰	0.900	1.61
110	4 x10 ⁻¹¹	0.920	1.84

سجلت قيم تيار الإشباع زيادة عما كانت عليه في النموذج الأول مما سجل لدينا ارتفاع في حاجز الجهد وعامل المثالية وكانت آلية نقل التيار مشابهة للنموذج الأول .

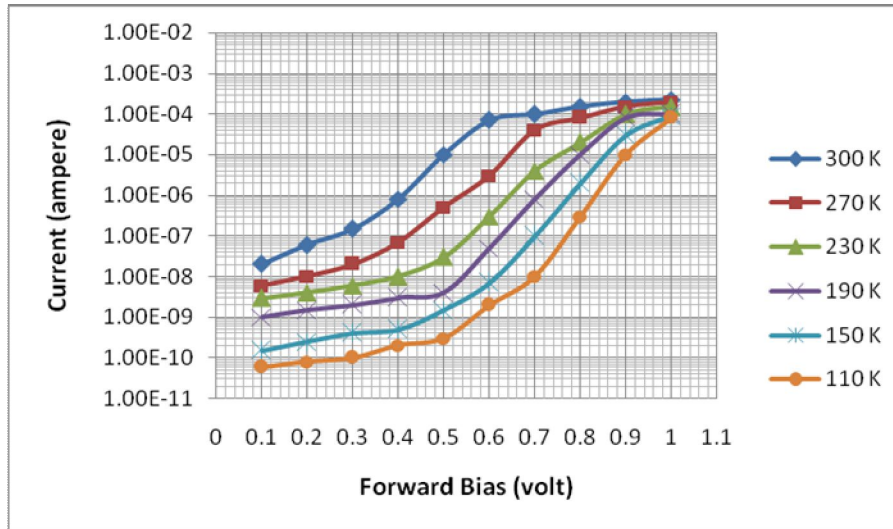
3- يبين الجدول التالي خصائص نموذج (Au / GaAs) وبتماس أومي معدن سبيكة جرمانيوم ذهب أنظر الشكل (8):

درجة الحرارة T°K	تيار الإشباع I _o (amp)	ارتفاع حاجز الجهد Φ _B (eV)	عامل المثالية n
300	1x10 ⁻⁹	0.886	1.19
270	7 x10 ⁻¹⁰	0.889	1.33
230	3 x 10 ⁻¹⁰	0.903	1.43
190	1.2 x10 ⁻¹⁰	0.917	1.59
150	7 x10 ⁻¹¹	0.919	1.71
110	2 x10 ⁻¹¹	0.935	1.91

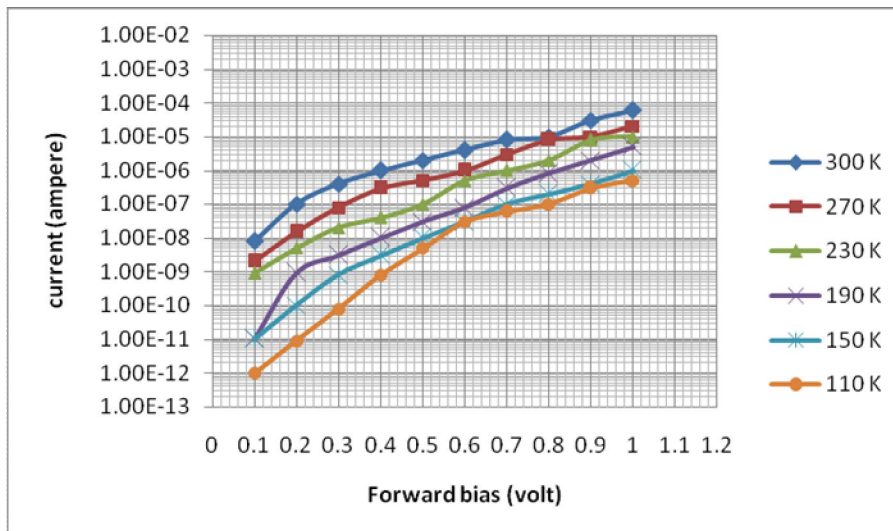
حيث سجلت قيم تيار الإشباع انخفاضاً عن النموذج الأول واقتربا من النموذج الثاني مما سجل لدينا ارتفاع في حاجز الجهد وعامل المثالية وكانت آلية نقل التيار مشابهة للنموذج الأول .



شكل (6) مخطط تيار فولتية عند درجات حرارة واطنة لتماس (Al/GaAs) بتماس أومي



شكل (7) مخطط تيار فولتية عند درجات حرارة واطنة لتماس (Al/GaAs) بتماس أومي سبيكة جرمانيوم ذهب



شكل (8) مخطط تيار فولتية عند درجات حرارة واطنة لتماس (Au/GaAs) بتماس أومي سبيكة جرمانيوم ذهب

مناقشة النتائج:

نلاحظ من النماذج السابقة إن قيمة عامل المثالية تأثرت بتغيير درجة الحرارة في جميع النماذج (8) وهذا التغيير كان بأزدياد عامل المثالية كلما نقصت درجة الحرارة وبالتالي اختلاف ميكانيكيات نقل التيار والتي تؤثر على تيار الإشباع العكسي حيث يُسيطر تيار إعادة الاتحاد في الفولتية المنخفضة وهذا التيار يزيد من توليد حاملات الشحنة الأغلبية المتولدة، ناقلات الشحنة الأقلية تكون أكبر من مربع الناقل الجوهري وحتى نصل إلى حالة الاتزان هناك إعادة اتحاد أما عند الفولتيات العالية فيهيمن تيار الانتشار، كما نلاحظ اعتماد قيم عامل المثالية على درجة الحرارة بسبب تغير ميكانيكيات نقل التيار من الانبعاث الأيوني الحراري إلى تيار إعادة الاتحاد في منطقة النضوب. كما أظهرت النتائج تأثير ارتفاع حاجز شوتكي بتغيير درجة الحرارة فهناك زيادة في قيمة ارتفاع الحاجز كلما نقصت درجة الحرارة وكذلك تأثير دالة شغل المعدن المستخدم عليه، أما تأثير التماس الأومي على عمل النماذج قيد البحث فقد كان واضحا حيث إن التماس الأومي الجيد يقلل من مقاومة التوالي للنموذج وبالتالي فإن التيار المار خلال النموذج يزداد كما في تماس سبيكة (Ge-Au) .

المصادر:

- 1- A.N.Donald / semiconductor physics and devices /1992
- 2- Enoch Mpho Sithole /Electrical characteristics of Schottky barrier diodes fabrication on GaAs by electron beam metallization /p.19/2001
- 3- B. Van Zeghbroeck / Metal-Semiconductor. Junctions / 2007
- 4- أس. أم. زي. / نبائط أشباه الموصلات / ترجمة د. غالب فهد حياتي ، د. حسين علي أحمد / 1990
- 5- هناء متي ،د. عامر عباس / الكترونييات أشباه الموصلات ج1 / 1990
- 6- R. V. Ghita*, C. Logofatu, C. Negrila, A. S. Manea, M. Cernea, M. F. Lazarescu Journal of Optoelectronics and Advanced Materials Vol. 7, No. 6, December / p. 3033 – 3037 – studies of ohmic contact and Schottky barriers on Au-Ge/GaAs & Au-Ti/GaAs /2005
- 7- A.Bar.Lev. / semiconductor and Electronic Devices /p.185. / 1980
- 8- R. Singh, S. K. Arora, Renu Tyagi, S. K. Agarwal and D. Kanjilal / Indian Academy of Sciences. Vol. 23, No. 6, Temperature dependence of current–voltage characteristics of Au/n-GaAs epitaxial Schottky diode/ 2000