دراسة الخواص الكهربائية لنبائط أرسنيد الكاليوم Au/n^+-GaAs عند مدى من درجات الحرارة قبل وبعد تشعيعها بأشعة كاما

د. أطياف صبحي محمد
فرع العلوم الأساسية / كلية طب الأسنان
جامعة الموصل

د. مصطفى عرب محمد
قسم الفيزياء / كلية التربية
جامعة الموصل

الاستلام 2011 / 03 / 06

القبول 2011 / 10 / 05

Abstract

The electrical characteristics for Schottky barrier devices Au/n^+-GaAs which have been radiated with two different doses of γ-ray at (3.41, 5.26)×10^7 rad with γ-radiation and unradiated at range of different temperatures (93-333 K) are compared. It was found that the effect of temperature on I-V characteristics at forward bias for this devices are decreases as the radiation dose increase. Activation energy and barrier height measurement show that the conduction current are change from thermonic emission before radiation process to generation-recombination in lightly γ-radiated devices, while for highly radiated devices the conduction current is different to that.

It was found a reduction in leakage current by using Schottky devices with guard ring structure which fabricated by photolithography technique, the electrical characteristics of this radiated devices show low effect to radiation and high stability.

الملخص

تم في هذا البحث مقارنة الخواص الكهربائية عند مدى من درجات الحرارة المختلفة (93-333K) لنبائط حاجز شوتكي Au/n^+-GaAs قبل وبعد عملية تشعيعها بجرعتين مختلفتين من أشعة كاما rad (3.41×10^7, 5.26×10^7). لقد تبين من نتائج البحث أن تأثير درجة الحرارة على مميزات التيار– فولتية في حالة الانحياز الأمامي لهذه النبائط يقل مع زيادة جرعة الإشعاع. ومن حساب طاقات التنشيط وارتفاع حاجز الجهد تبين إن آلية توصيل التيار تتغير

من آلية الانبعاث الحراري قبل عملية التشعيع إلى آلية التولد –الاتحاد بعد عملية التشعيع بالجرعة الواطئة من أشعة كاما وأنها تبتعد كلياً عن تلك الآلية للنبائط ذات التشعيع العالي.

وقد بين البحث أيضاً أن استخدام نبائط أخرى لشوتكي ذات تركيب الحلقة الحارسة المصنعة بتقنية الطبع الضوئي يعمل على إزالة تيار التسرب السطحي وان النبائط المصنعة بتلك الطريقة تمتلك خواص كهربائية ذات استقرارية عالية وتأثر قليل بالإشعاع.

1. تمهيد:

أصبح لأرسنيد الكاليوم GaAs أهمية كبيرة من خلال استخداماته في كثير من الأجهزة الالكترونية والضوئية المعقدة[1-3] مثل الدوائر الالكترونية المتكاملة (Integrated-Circuits) والمرشحات الضوئية (Photo Filters) والألواح الحساسة (Sensitive Plates). إن من أحد الأسباب في تشعيع أرسنيد الكاليوم هي الحاجة إلى معرفة مدى استطاعة النبائط الأساسية المصنعة منه على العمل في محيط إشعاعي. إن عملية التشعيع هذه تؤدي إلى توليد مستويات قوانص (Trap Levels) لكل من الالكترونات والفجوات في فجوة الطاقة (Energy Gap) التي تعادل (Compensate) التوصيلية الابتدائية (Initial Conductivity) وتقلل زمن الديمومة (Life Time) لكل من حاملات الشحنة الأغلبية والأقلية، وذلك بسبب تولد منطقة ذات مقاومية عالية بين المعدن وشبه الموصل في نبائط شوتكي، هذه المنطقة تحتوي على العديد من العيوب المتولدة بالإشعاع والتي تؤثر تأثيراً واضحاً على مميزات النبيطة بسبب مناطق التلف الإشعاعي[4].

تضمن هذا البحث دراسة العلاقة بين التيار والفولتية عند درجات الحرارة ضمن المدى 93 K-333 K لغرض التعرف على آليات التوصيل السائدة في نبائط حاجز شوتكي قبل وبعد عملية التشعيع، فضلاً عن حساب طاقات التنشيط لهذه النبائط باستخدام تقنيتين مختلفتين.

2. التقنيات العملية:

استخدم في هذا البحث طبقة رقيقة من غشاء أرسنيد الكاليوم نوع n ذات تركيز يقرب من 1×10^{15} cm^{-3} وبسمك 9 μm والمنمى فوقياً بطريقة التبخير الحراري (Vapor Grown Epitaxial Layer) على أرضية n^+-GaAs المطعم بالسيلكون والمجهز من مؤسسة ((Royal Radar Establishment (RRE). تم إجراء الاتصال الأومي باستخدام سبيكة الذهب . جرمانيوم Au/Ge بنسبة 88:12 بينما أجري الاتصال الفوقي عن طريق تبخير مادة الذهب النقي وبسمك 1000 A° من خلال نقاط دائرية ذات قطر 0.43 mm للنوع الأول وتركيب الحلقة الحارسة الذي يتضمن دائرة مركزية ذات قطر 1 mm محاطة بحلقة خارجية

ذات عرض 0.5 mm وتبعد عن تلك الدائرة بمسافة 0.2 mm والمنجزة بتقنية الطبع الضوئي للنوع الثاني وذلك قبل عملية التشعيع اذ ان الهدف الأساسي لهذا البحث هو معرفة تأثير الإشعاع على الية التوصيل فى نبائط أرسنيد الكاليوم، لذلك فإن هذه النبائط قد صنفت إلى صنفين أولهما، النبائط غير المشععة والصنف الثاني هي النبائط التي تم تشعيعها بأشعة كاما باستخدام المصدر Co^{60}، وأخيراً فإن كافة نبائط أرسنيد الكاليوم تم تغليفها باستخدام علبة (To-5 header).

بعد ذلك تم إجراء قياسات التيار– فولتية للانحياز الأمامي عند مختلف درجات الحرارة (93-333 K) لهذه النبائط بعد وضعها داخل منظومة تبريد (cryostat) باستخدام سائل النتروجين والمفرغة من الهواء.

3. النتائج العملية:

يتم نقل التيار في ثنائي شوتكي المتكون من شبه موصل معتدل التطعيم ($Nd \leq 10^{17}$ cm^{-3}) والذي يعمل عند درجة حرارة الغرفة (300 K) عن طريق آلية توصيل الانبعاث الحراري للحاملات الأغلبية من شبه الموصل وفوق حاجز الجهد إلى المعدن وأن مميزات التيار . فولتية للحاملات الأغلبية لهذه الآلية في حالة الانحياز الأمامي تتحدد بالعلاقة[4]:

$$I = I_s \left[\exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) - 1 \right] \qquad \ldots (1)$$

إذ أن V الفولتية المسلطة، q الشحنة الالكترونية، k ثابت بولتزمان، T درجة الحرارة المطلقة، n عامل المثالية، I_s عبارة عن تيار الإشباع ويعطى بالعلاقة الآتية:

$$I_s = AA^* T^2 \exp\left(-\frac{q\phi_B}{kT}\right) \qquad \ldots (2)$$

إذ أن ϕ_B ارتفاع حاجز الجهد A^* ثابت رجاردسون و A مساحة الاتصال.

مميزات التيار– فولتية عند درجات الحرارة المختلفة لنبائط حاجز شوتكي المشععة بأشعة كاما مبينة بالشكلين (1) و (2) ذات الجرع الإشعاعية (3.4×10^7 rad) و (5.26×10^7) على الترتيب. إن منحنيات هذين الشكلين تبين أن اعتماد التيار على درجة الحرارة يقل مع زيادة مستوى التلف وبخاصة عند مقارنتها مع النبائط غير المشععة في الشكل (3)، وعند حساب عامل المثالية n-factor للنبائط المشععة بالجرعة (3.4×10^7 rad) وغير المشععة عند مختلف درجات الحرارة فقد لاحظنا بأنه يزداد كلما انخفضت درجة الحرارة كما موضح ذلك في الشكل (4). إن النتيجة التي حصلنا عليها من هذا الشكل جاءت متطابقة مع نتائج الباحثين Ashok و Borrego و Gutmann[5] الذين درسوا تغير n مع درجة الحرارة لنبائط شوتكي MS و

MIS في أرسنيد الكاليوم، إذ أشاروا أن اقتراب قيمة n من الواحد في هذا الشكل عند درجة حرارة الغرفة تعني أن آلية التوصيل تتقرب من الانبعاث الحراري. أما الشكل (5) فإنه يشير إلى تغير ارتفاع حاجز الجهد مع درجة الحرارة في النبائط نفسها، إذ أن انخفاض درجة الحرارة يؤدي إلى زيادة ارتفاع الحاجز.

من المعادلتين (1) و (2) يمكن أن نلاحظ أن رسم $Log\ (I_S/T^2)$ كدالة إلى 1/T عندما يكون $I >> I_s$ الميل يعطي خطاً مستقيماً وبطاقة تنشيط مساوية إلى:

$$Slope - (\Phi_B + eV) / K \qquad \dots (3)$$

إذا كانت عملية الاتحاد خلال مستوى مركز الحزمة هي المتغلبة في حالة الانحياز الأمامي، يمكن التعبير عن مميزات IV بواسطة المعادلتين[5]:

$$I = I_R \ \exp(qV / 2kT) \qquad \dots (4)$$

إذ أن I_R هو تيار التولد العكسي والذي يساوي:

$$I_R = A\, q\, n_i\, (X_d / \tau) \qquad \dots (5)$$

إن X_d عرض منطقة الاستنزاف حيث تحدث عمليات التولد أو الاتحاد، τ زمن ديمومة الحاملات و n_i تركيز الحاملات الأصلية.

في هذه الحالة، فإن اعتماد تركيز الحاملات الأصيله n_i على درجة الحرارة يمكن كتابته كالآتي:

$$n_i\ \alpha \exp(Eg / 2kT) \qquad \dots (6)$$

حيث Eg هي طاقة فجوة الحزمة. وعليه عند رسم Log I كدالة إلى 1/T سوف يعطي طاقة التنشيط والتي تساوي:

$$(Eg - eV) / 2k$$

هذه المعادلة تكون صحيحة لتيار الاتجاه الأمامي. لذلك، فإنه يمكن استنتاج آلية توصيل التيار هذه اذا كانت ناتجة عن آلية الانبعاث الحراري أو تكون تأثيرات الاتحاد هي المتغلبة بواسطة قياس التيار خلال نبائط حاجز شوتكي لأرسنيد الكاليوم عند درجات الحرارة الواطئة.

وعند رسم تيار الاتجاه الأمامي عند مدى الدرجات الحرارية K (93-333) بصيغة $Log\ I_s/T^2$ كدالة إلى 1/T للنبائط غير المشععة والمبين في الشكل (6)، ومن هذا الرسم حسبت طاقة التنشيط والتي أظهرت الاتفاق الواضح مع نظرية الانبعاث الحراري إذ أعطت قيمة ارتفاع الحاجز المساوية إلى 0.894 eV والتي كانت مقاربة جداً إلى قيمة حاجز جهد أرسنيد الكاليوم 0.9 eV. الدليل الآخر على تحقيق آلية توصيل الانبعاث الحراري المتغلبة في النبائط غير المشععة موضح في نفس الشكل (6)، إذ يوضح هذا الشكل مقارنة بين رسم I_s/T^2 كدالة إلى 1/T و 1/nT فإذا كانت آلية توصيل الانبعاث الحراري هي السائدة فإن رسم I_s/T^2 كدالة إلى 1/nT يجب أن يعطي علاقة خطية، وقد كان ذلك هو المتوقع آنفاً في النبائط غير المشععة لأن هذه العلاقة الخطية هي من مميزات نظرية الانبعاث الحراري. ومن هذه العلاقة المرسومة

بين I_s/T^2 كدالة $1/T$ تم حساب ثابت ريجاردسون والذي كانت قيمته مقاربة من القيمة النظرية $8.0\ A/cm^2K^2$.

إن النتائج التي حصلنا عليها من الشكل (6) كانت متطابقة مع نتيجة الباحث Ashok etal. وجماعته[5] الذي استخدم منحني ريجاردسون للحصول على العلاقة الخطية بين I_s/T^2 كدالة $1/nT$.

رسمت العلاقة نفسها I_s/T^2 كدالة إلى $1/T$ للنبائط المشععة بأشعة كاما والمبين في الشكل (7). من هذا الشكل نلاحظ أن النبائط المشععة بالجرع الواطئة تظهر اعتماداً كبيراً على درجة الحرارة من العلاقة الخطية المرسومة مما يدل على تقربها من آلية الانبعاث الحراري ولكن عند حساب قيم طاقات التنشيط وجد أن قيمة ارتفاع الحاجز اقل من القيمة الحقيقية وتبتعد عنها لدى زيادة مستوى التشعيع في تلك النبائط عندما يقل اعتمادها على درجة الحرارة. وبذلك نرجح ان هذه الآلية لا تسود في النبائط المشععة، ولغرض التأكد من ذلك تم رسم $Log\ I_s$ مع $1/T$ للنبائط المشععة بأشعة كاما في الشكل (8)، ومنه نلاحظ أن طاقات التنشيط المحسوبة من ميل الخط المستقيم لهذه العلاقة كانت بحدود (0.715 eV) للنبائط المشععة بالجرعة الخفيفة، وأن هذه القيم مقاربة إلى نصف طاقة فجوة أرسنيد الكاليوم وبذلك نستنتج أن آلية التولد . الاتحاد هي السائدة في تلك النبائط[6]. أما في النبائط المشععة بالجرعة الثقيلة فإن اعتماد التيار على درجة الحرارة يقل وخاصة عند درجات الحرارة الواطئة. إن نتائج الباحث Taylor and Morgan [6] والذي قام بدراسة مفصلة لحساب طاقات التنشيط بنفس الطريقة المبينة يتشابه كثيراً مع نتائجنا العملية في هذا البحث. إن قيمة طاقة التنشيط المحسوبة عند الجرعة الثقيلة تقرب من 0.26 eV وهي أقل بكثير من نصف طاقة فجوة الـ GaAs.

وبذلك لا يمكن أن تفسر آلية توصيل التيار في هذه الحالة بواسطة عمليات الاتحاد بسبب نشوء تأثيرين: أولاً، إن ذلك يحصل نتيجة تكون منطقة ذات مقاومية عالية نتيجة الضرر الناتج من التشعيع. ثانياً، كما أن ذلك يؤدي إلى زيادة التسرب السطحي0اذ ويمكن إزالة تأثير التسرب هذا بوساطة اقتراح التوصيل الفوقي للنبائط على شكل حلقة حارسة بدلاً من النقاط الدائرية. إن مقارنة مميزات IV للنبائط ذات الحلقة الحارسة مع النبائط من دون هذه الحلقة بعد عملية تشعيعها بأشعة كاما (1.34×10^7 rad) وغير المشععة موضحة في الشكل (9). نشاهد من هذه المنحنيات بوضوح الانخفاض الحاصل بقيمة التيار عند استخدام الحلقة الحارسة، حيث تمت إزالة تيار التسرب وكان ذلك يتفق مع دراسة الباحثان Lee و Zse[7]. كذلك يبين الشكل نفسه أن نبائط الحلقة الحارسة تكون ذات استقرارية في خواصها أكثر من النبائط الدائريه بعد تعرضها للإشعاع مما يدل على أن النبائط ذات الحلقة الحارسة لها قابلية تحمل أكثر للتأثيرات الإشعاعية.

4. الاستنتاجات:

تبين أن آلية الانبعاث الحراري تكون هي السائدة وكما هو متوقع في نبائط شوتكي غير المشععة، وبعد حساب طاقة التنشيط وارتفاع حاجز الجهد ϕ_B لأرسنيد الكاليوم من منحنى ريجاردسون وجد أنه يقرب من 0.89 eV وتلك القيمة كانت قريبة جداً من القيمة النظرية 0.9 eV لارتفاع حاجز الجهد في معدن الذهب. في حين أن آلية توصيل التيار عن طريق التولد– الاتحاد تكون هي السائدة في النبائط المشععة بالجرع الخفيفة. بينما لا تسود في النبائط ذات الجرعة العالية من الإشعاع.

أظهرت دراسة علاقة التيار– فولتية في حالة الانحياز الأمامي عند درجات الحرارة الواطئة ان هذه العلاقة يقل اعتمادها على درجات الحرارة كلما ازداد مستوى التشعيع. استنتجنا أيضاً أن نبائط حاجز شوتكي ذات تركيب الحلقة الحارسة تعمل على إزالة تأثيرات تيار التسرب السطحي وأنها تمتلك خواص ذات استقرارية أكثر من النبائط دائرية الشكل ضد الإشعاع.

References:

1) Kamalov A.B. (2009), "Measurement of Efficient Thickness of Transition Layer, Stimulated by Microwave Radiation, In contacts Mo- GaAs", Radioelectronics and Communications Systems, Vol. 52, No. 10, 545 – 548.

2) Ferrini R., Galli M., Guizze Hi G., Patrini M., Nava F., Canali C. and Vanni P. (1997), "Optical Evaluation of the Ionized EL_2 Fraction in Proton (24 GeV) Irradiated semi-Insulating GaAs", Appl. Phys. Lett., Vol. 71 (21), P. 3084.

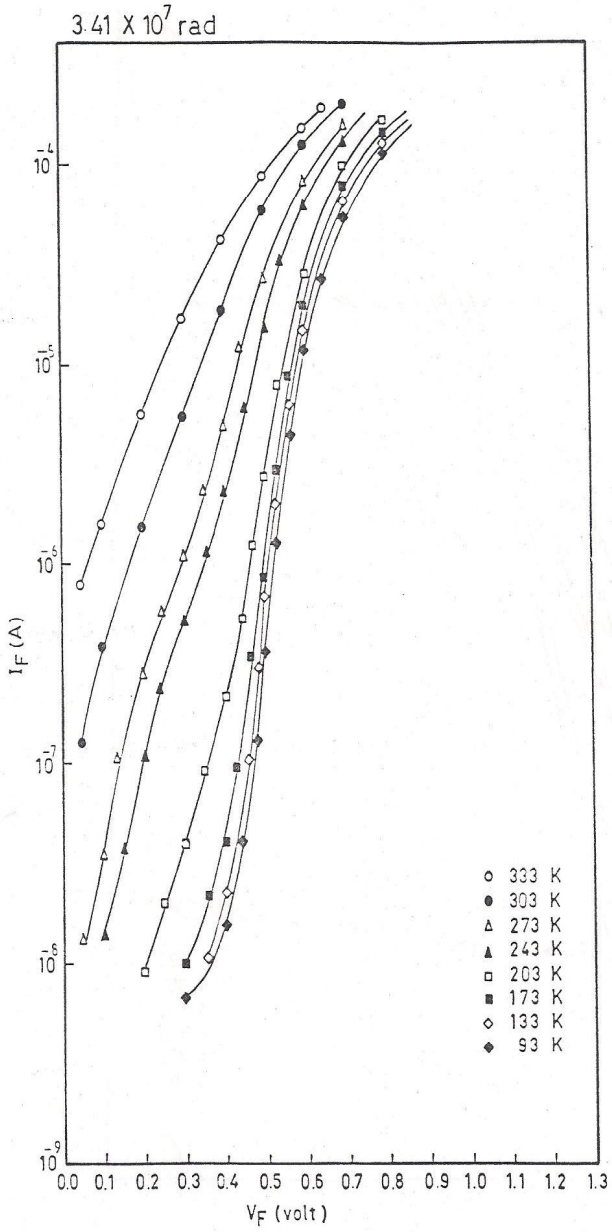
3) Bohacek P., Dubecky F. and Sekacova M. (2007), "Simulation of the Reverse I-V Characteristics of the Schottky Barrier Radiation Detector Structures Prepared on Semi-Insulating GaAs", Semicond. Sci. Technol., Vol. 22, No. 7, P.763.

4) Ejimanya J. I. (1985), "Current-Voltage Characteristics of Proton-Bombarded Au-GaAs Contact", Solid-State Electronics, Vol. 29 (8), P. 841.

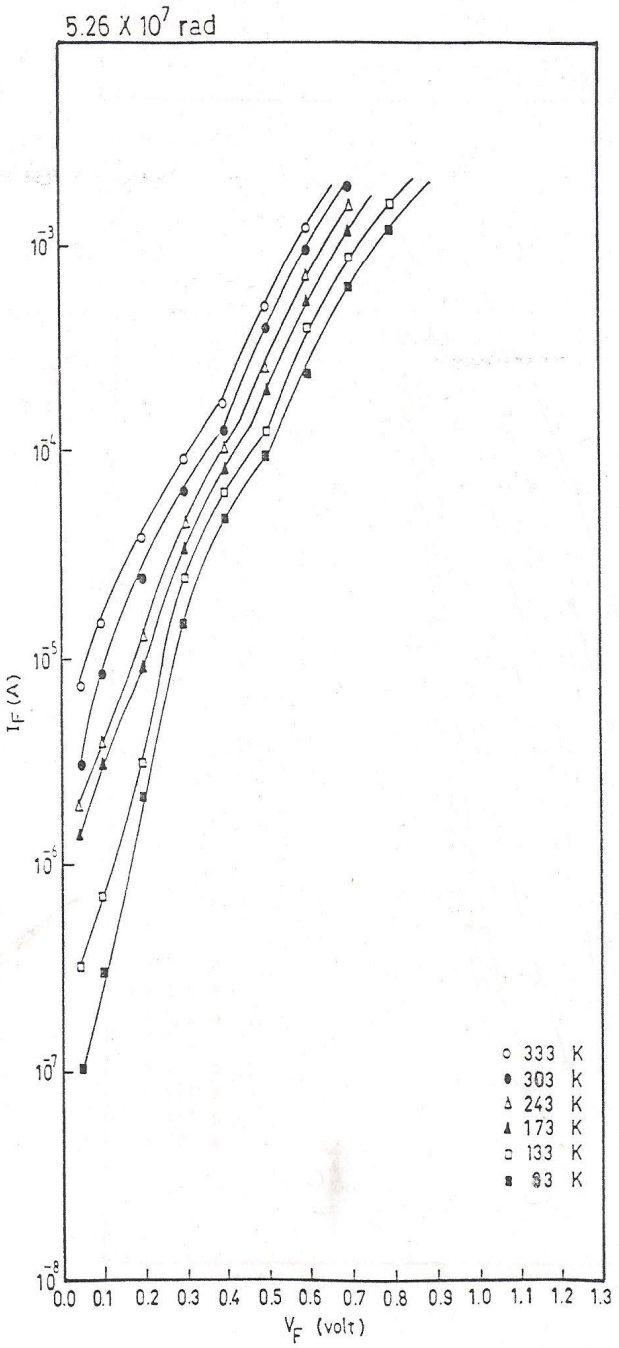
5) Ashok S., Borrego J. M. and Gutmann R. J. (1979), "Electrical Characteristics of GaAs MIS Schottky Diodes", Solid-State Electronics, Vol. 22, P. 621.

6) Taylor P. D. and Morgan D. V. (1976), "The Effects of Radiation Damage on the Properties of Ni-n GaAs Schottky Diodes-II", solid-State Electronics, Vol. 19, P. 481.

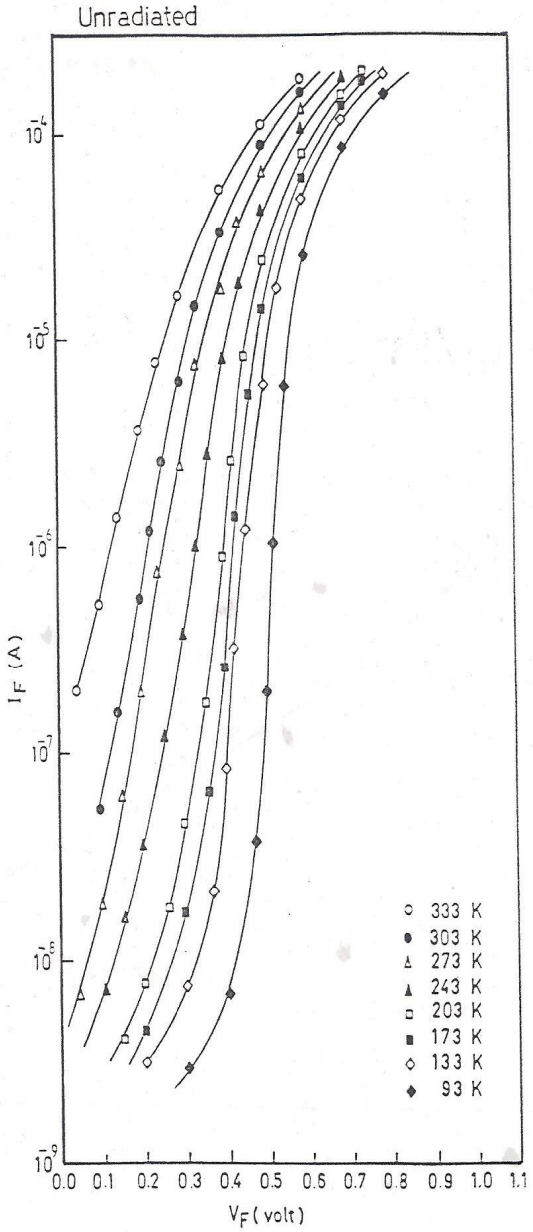
7) Lee H.S. and Sze S. M. (1968), "Effect of Radiation on Silicon Schottky Barrier Diodes", Presented at the IEEE Semiconductor Interface Specialists Conference, Las Vegas, Nevada.



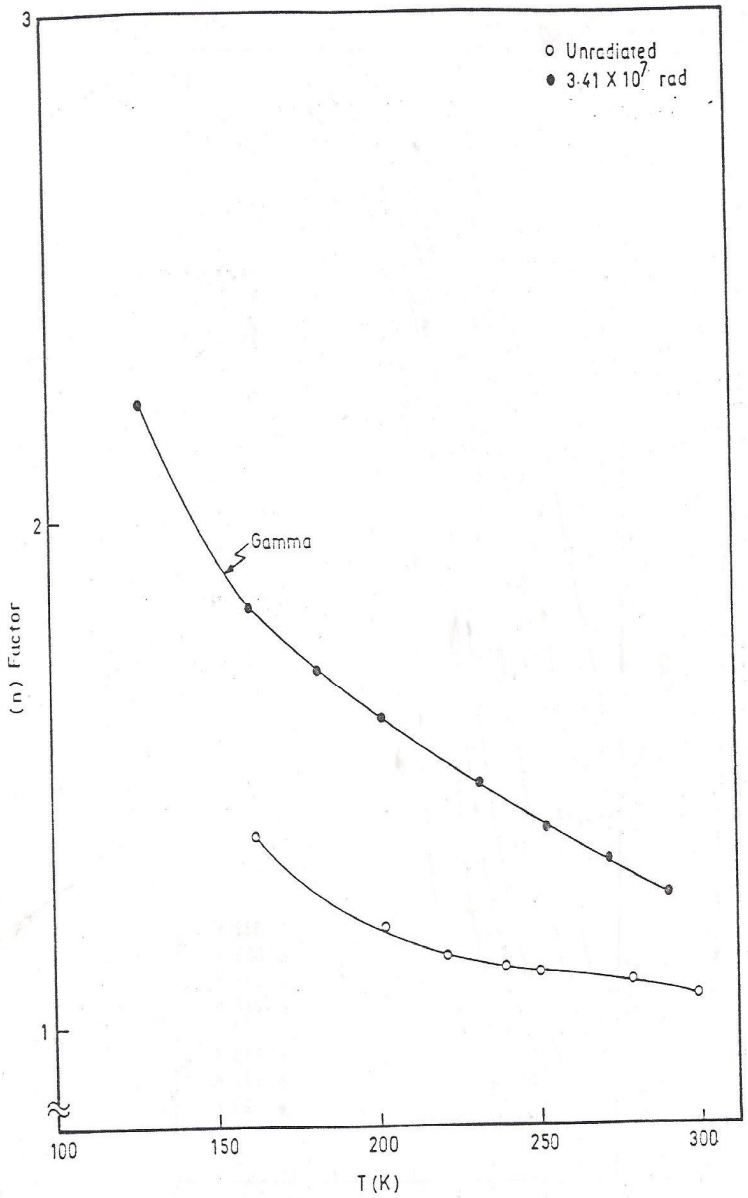
الشكل (1) : مميزات التيار ــ فولتية لنبائط المشععة بجرعة أشعة كامـــا (3.41×10^7 rad) عند مختلف درجات الحرارة .



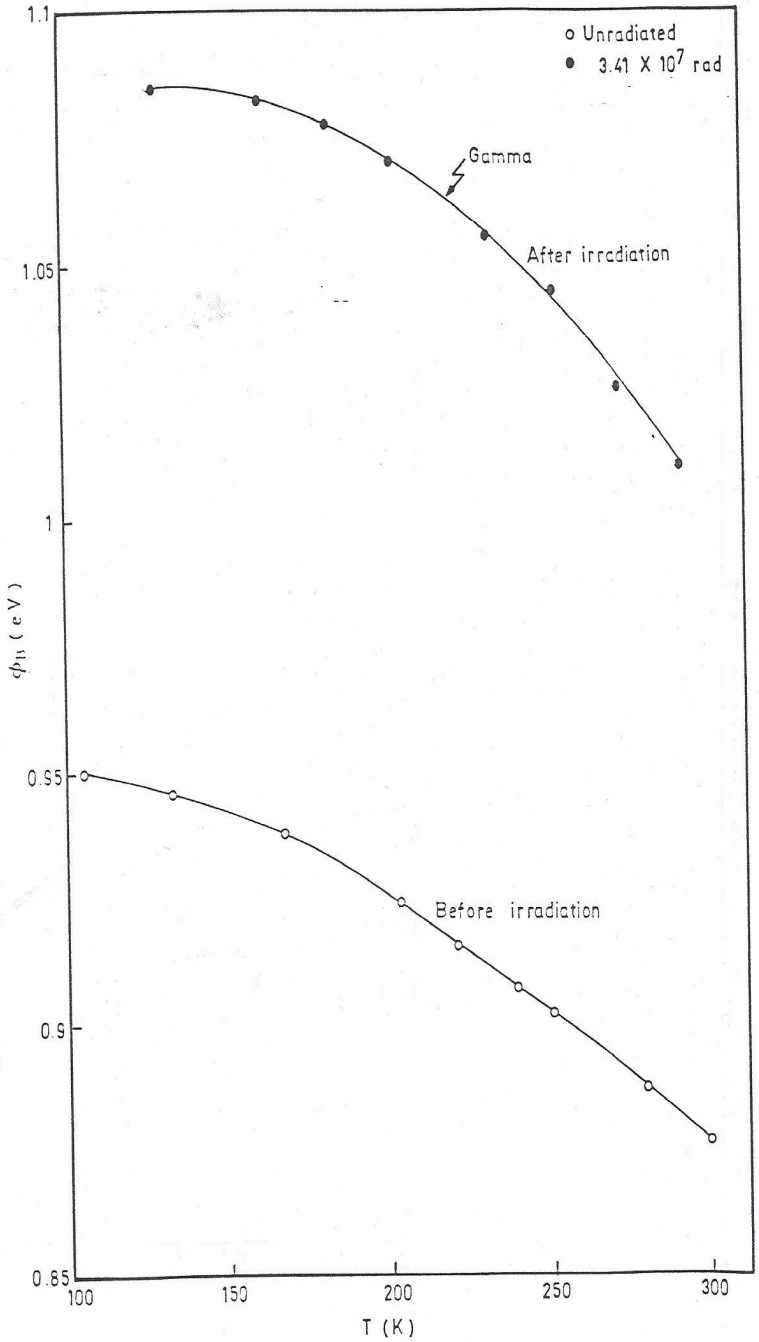
الشكل (2) : مميزات التيار ــ فولتية لنبائط المشععة بجرعة أشعة كاما (5.2×10^7 rad) عند مختلف درجات الحرارة .



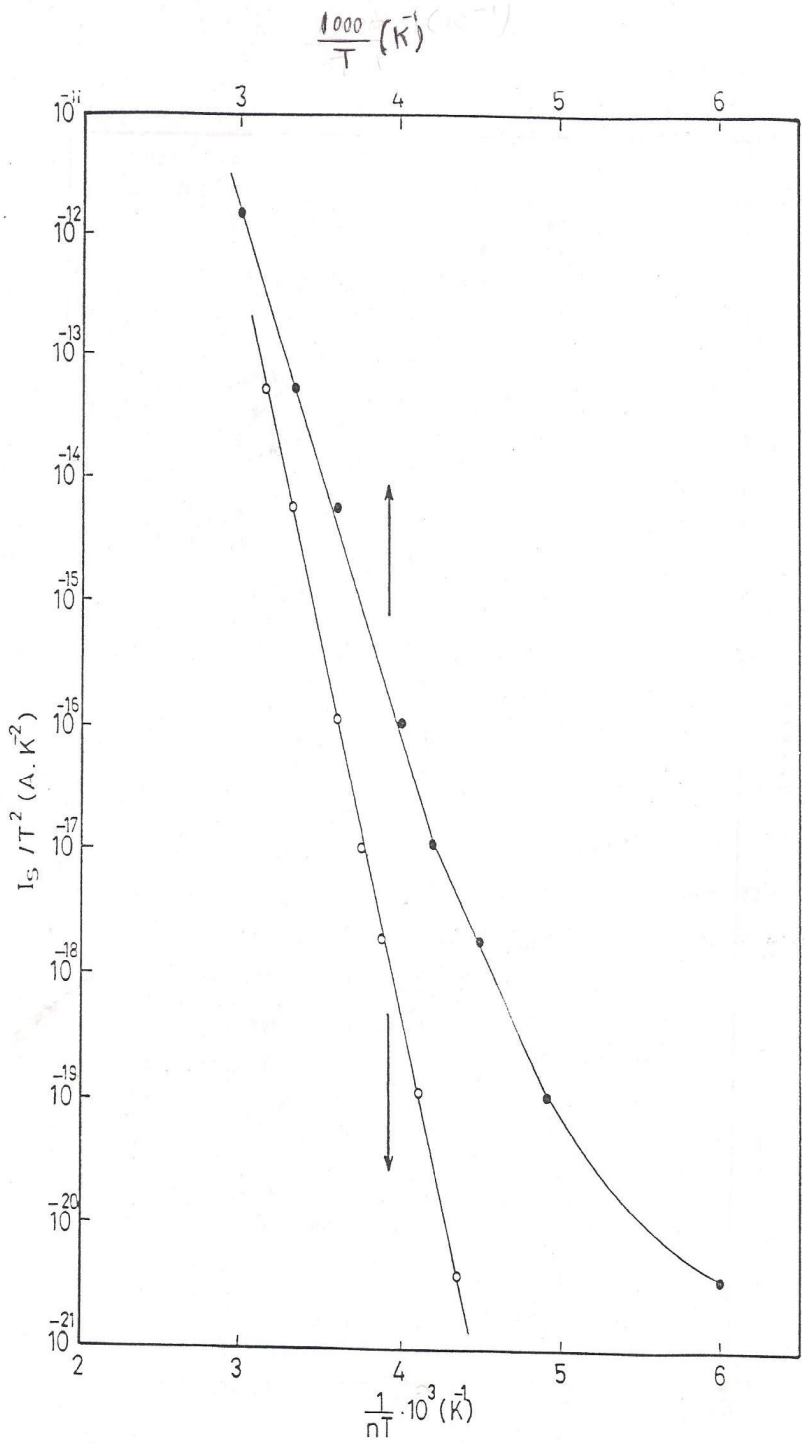
الشكل (3) : مميزات التيار ــ فولتية للنبائط غير المشععة عند مختلف درجات الحرارة .



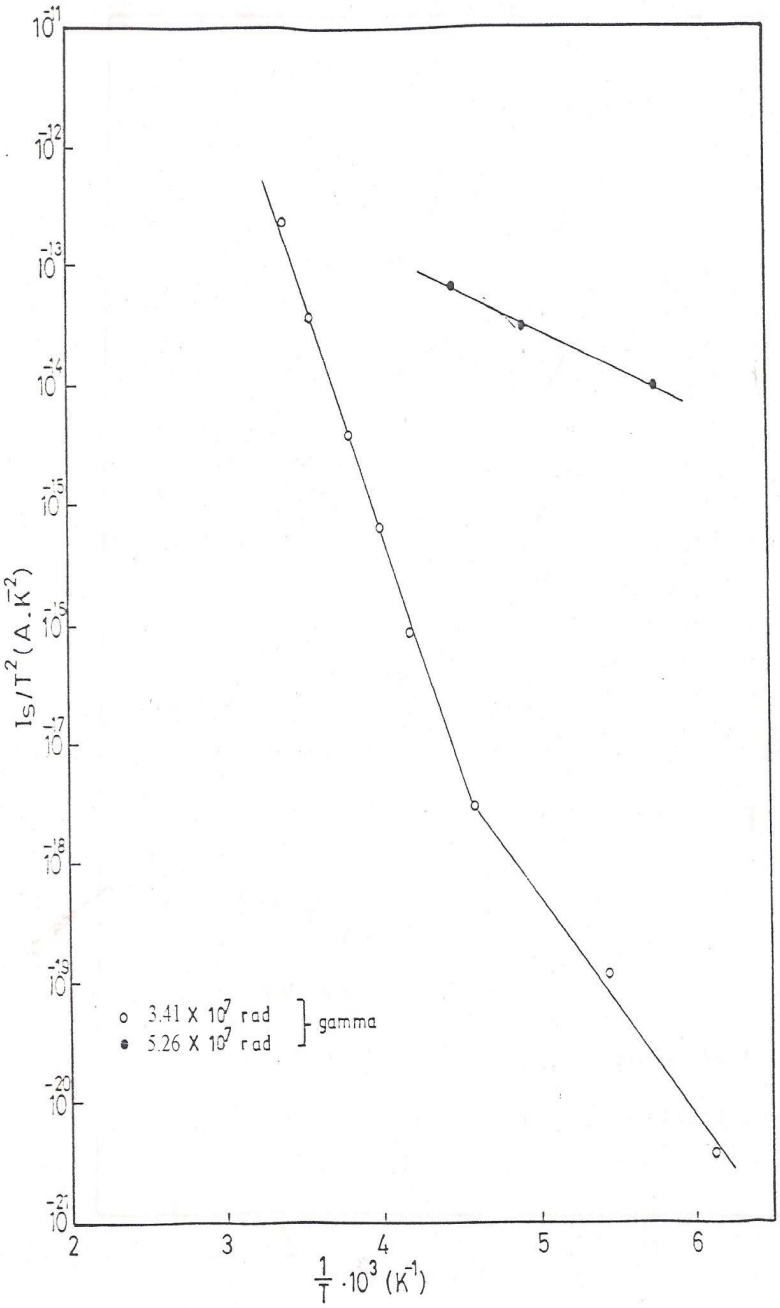
الشكل (4) : تغير عامل الميثالية مع درجة الحرارة للنبائط المشـــعة بأشـــعة كامـــا وغـــير المشعة.



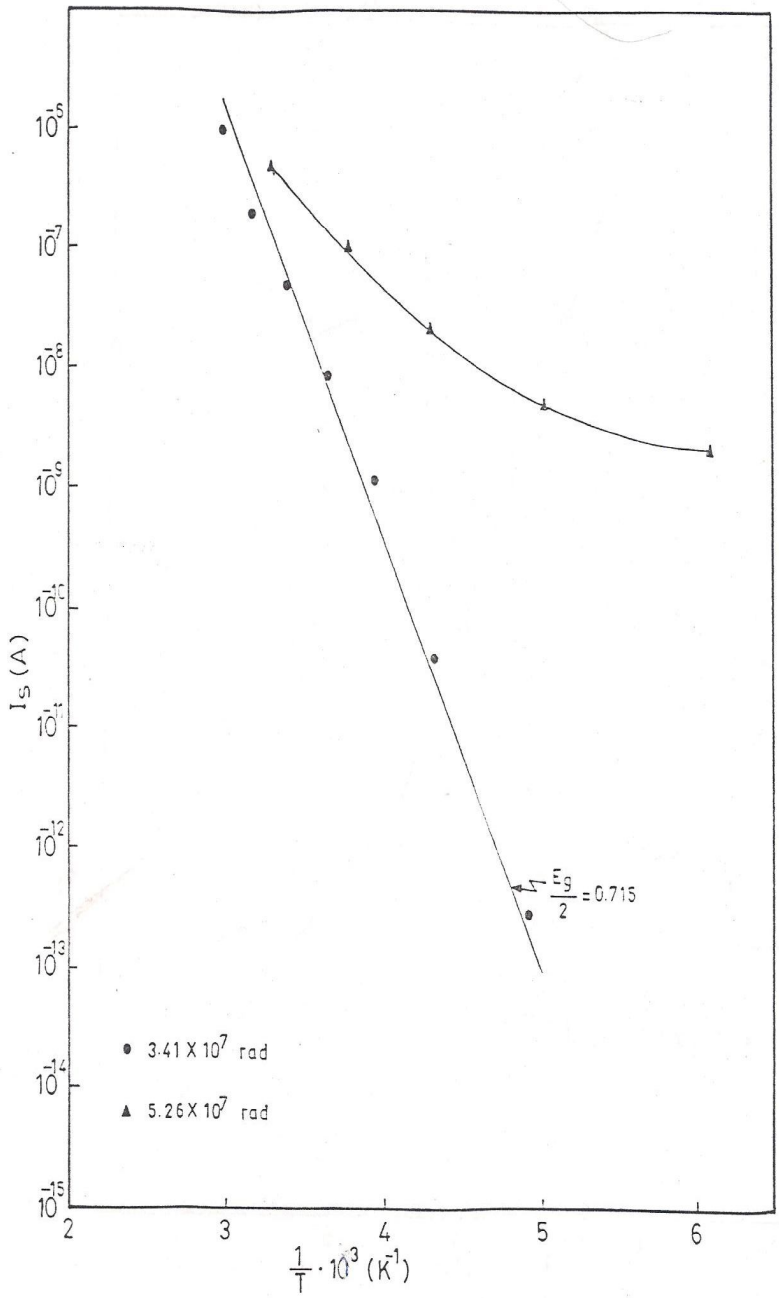
الشكل (5) : تغير ارتفاع حاجز شوتكي مع درجة الحرارة للنبائط المشععة بأشعة كاما وغـير المشععة.



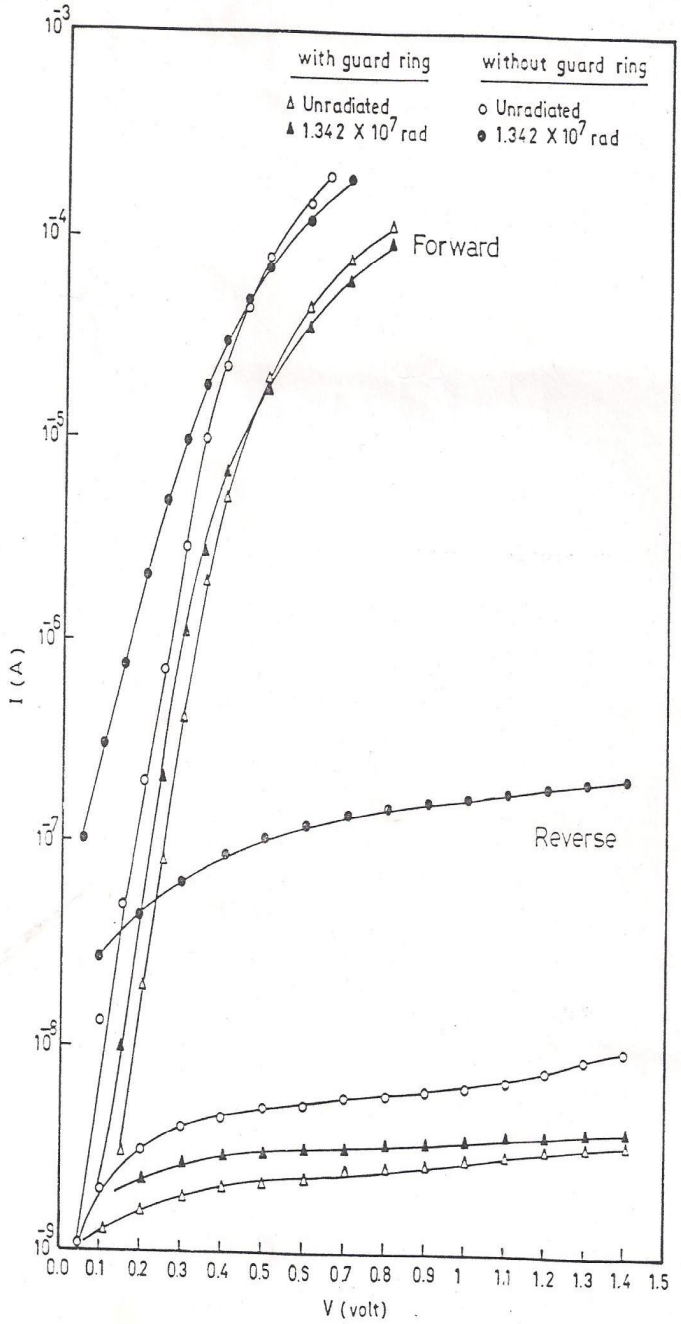
الشكل (6) : علاقة $Log\ I_s/T^2$ كدالة إلى 1/T و 1/nT كليهما للنبائط غير المشععة .



الشكل (7) : علاقة $Log\ I_s/T^2$ كدالة إلى $1/T$ للنبائط المشععة بأشعة كاما.



الشكل (8) : علاقة $\text{Log } I_s$ كدالة إلى $1/T$ للنبائط المشععة بأشعة كاما.



الشكل (9) : مقارنة مميزات التيار ــ فولتية للنبائط ذات الحلقة الحارسة مع النبائط مـــن دون هذه الحلقة قبل عملية التشعيع بجرعة 1.34×10^{7} rad وبعدها.