

## تحديد ارتفاع حاجز شوتكي لديود ملدن وغير ملدن Ni - n-GaAs بواسطة المميزات السعوية (C-V)

الدكتور رزق محمد قرفول\*

(تاريخ الإيداع 16 / 4 / 2014. قُبل للنشر في 26 / 6 / 2014)

### □ ملخص □

تمت في هذا البحث دراسة المميزات السعوية C-V لديودات شوتكي الملدنة و غير الملدنة من النوع Ni-n-GaAs عند درجة حرارة 300K قبل و بعد قذفها بطاقات ليزيرية مختلفة. تمّ حساب تركيز الشوائب المانحة في قاعدة الديود فكانت قيمها تتراوح بين  $(0.63 \times 10^{15} - 0.65 \times 10^{15}) \text{cm}^{-3}$  في الديودات غير الملدنة ، بينما كانت قيمها تتراوح بين  $(0.94 \times 10^{15} - 1.08 \times 10^{15}) \text{cm}^{-3}$  في الديودات الملدنة و تزايدت السعة مع زيادة طاقة الجرعات الليزرية في الديودات غير الملدنة بينما تناقصت في الديودات الملدنة . كذلك تمّ حساب ارتفاع حاجز شوتكي في الديودات غير الملدنة فكانت تتراوح بين  $(0.688 - 0.708) \text{V}$  أما في الديودات الملدنة فكانت تتراوح بين  $(0.79 - 0.87) \text{V}$  و أخيراً تم مقارنة هذا الارتفاع مع قيمته المحسوبة وفقاً لنظرية شوتكي فكانت النتائج متقاربة .

**الكلمات المفتاحية:** ديود شوتكي ملدن وغير ملدن ، المميزات السعوية C-V، جهد التماس، جهد الانحياز العكسي، تركيز الشوائب المانحة، ارتفاع حاجز شوتكي .

\*مدرس - قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

## Determination Schottky Barrier Height for annealed and non-annealed Diode Ni-n-GaAs using The capacity-voltage characteristics C-V

Dr. Rizek Karfoul\*

(Received 16 / 4 / 2014. Accepted 26 / 6 / 2014)

### □ ABSTRACT □

In this research ,the characteristics C-V were studied for annealed and non- annealed Schottky diodes of Ni-n-GaAs type at 300K temperature before and after irradiation by different laser energies. Donor impurities concentration in the diode substrate was calculated and it ranged between  $(0,63 \times 10^{15} - 0,65 \times 10^{15}) \text{ cm}^{-3}$  in non-annealed diodes. While it was ranged between  $(1.08 \times 10^{15} - 0.94 \times 10^{15}) \text{ cm}^{-3}$  in annealed diodes. The capacity increased by the increase of the laser doses in the non-annealed diodes while it decreased in annealed diodes. In addition to, Schottky barrier height in non-annealed diodes was calculated and it ranged between  $(0.708 - 0.688) \text{ V}$ . While in annealed diodes, it ranged between  $(0.79 - 0.87) \text{ V}$ . Finally this height was calculated according to Schottky theory and the results were very close.

**Key words:** Annealed and non-annealed Schottky diode, capacity characteristics C-V , contact voltage, reverse bias voltage, donor impurities concentration, Schottky Barrier Height.

---

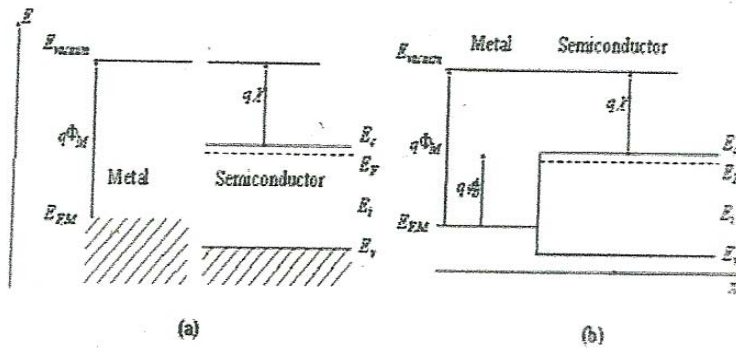
\* Assistant Professor, Department of Physics , Faculty of science, Tishreen University, Lattakia, Syria.

## مقدمة:

يوجد استخدام كبير وواسع للمواد نصف الناقلة في الوقت الحاضر ، وخاصةً زرنيخ الغاليوم [1] GaAs في مجالات علمية كثيرة لما يتمتع به من منطقة محظورة عريضة مباشرة  $E_g=1.49\text{eV}$  تتصف بعملها في مجال حراري كبير خلافاً للسيلكون ذي المنطقة المحظورة الأقل عرضاً [2,3]  $E_g=1.1\text{eV}$ ، وهذا يعني أفضلية GaAs لترميز تيارات كبيرة ، وبدورها الأجهزة المستخدمة له تملك تيارات عكسية صغيرة وجهد أكبر [4] .

بناءً على ذلك اكتسبت التماسات بين المعدن و نصف الناقل اهتماماً كبيراً [5,6] بسبب التطبيقات المتزايدة له في مجال التقانات المتقدمة التي تملك القدرة على التحكم في ارتفاع حاجز شوتكي و بالتالي الارتقاء بالأجهزة الإلكترونية في أثناء التصنيع لتكون ذات أبعاد صغيرة و تؤدي وظيفة بأعلى جودة مثل الحساسات و الخلايا الشمسية و الكواشف الضوئية و الكواشف ذات الحاجز السطحي [7].

يوضح الشكل (1) مخطط سويات الطاقة لنصف الناقل و المعدن قبل التماس المعدن مع نصف الناقل وبعده .



شكل (1) : مخطط سويات الطاقة قبل تشكيل التماس معدن -نصف ناقل (a) وبعده تشكيل التماس معدن - نصف ناقل (b) .

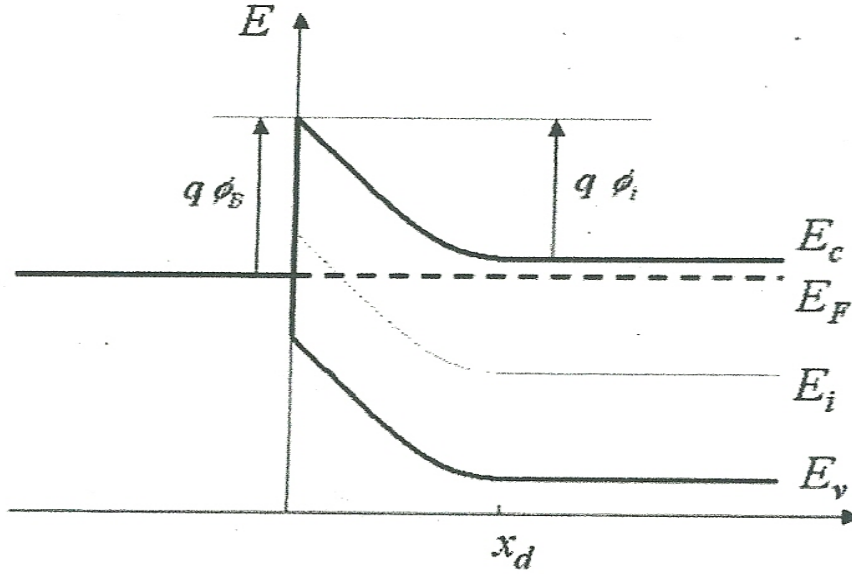
يسمى حاجز شوتكي بحاجز الجهد الذي ينشأ في طبقة التماس السطحية (وعرضها  $X_d$ ) الشكل (2) من نصف الناقل المجاور للمعدن بسبب فرق عمل خرج الإلكترونات من المعدن  $\Phi_m$  و عمل خرجها من نصف الناقل  $\Phi_s$  [8]. عند التماس بين المعدن و نصف الناقل من النوع n يكون لدينا ( $\Phi_m > \Phi_s$ ) و يشحن المعدن بشحنات سالبة بينما يشحن نصف الناقل بشحنات موجبة ، وهكذا تنتقل الإلكترونات بسهولة من نصف الناقل إلى المعدن أكثر منه في حالة التماس بين نصف الناقل من النوع p والمعدن حيث يكون لدينا ( $\Phi_m < \Phi_s$ ) حيث يشحن المعدن بشحنات موجبة و نصف الناقل بشحنات سالبة . عندما يحصل التوازن بين نصف الناقل والمعدن ينشأ فرق جهد تماسي  $V_K$  يعطى بالعلاقة [9,10]:

$$(1) \quad V_K = \frac{(\Phi_m - \Phi_s)}{q}$$

حيث q شحنة الإلكترون

وبسبب الناقلية الكبيرة للمعدن فان الحقل الكهربائي لا ينفذ منه ويزداد فرق الجهد التماسي  $V_K$  عند الطبقة السطحية لنصف الناقل. إن اتجاه الحقل الكهربائي في هذه الطبقة هو بسبب أن طاقة حوامل الشحنة الأساسية فيها أكبر منه في كل سماكة نصف الناقل، هذا يعني أن السويات الطاقية عند حد التماس في نصف الناقل من النوع n تكون منحنية

نحو الأعلى الشكل (2) أما في نصف الناقل من النوع p فهي منحنية نحو الأسفل



شكل (2) : مخطط سويات الطاقة لتمامس معدن - نصف ناقل نوع n في حالة التوازن الحراري .

يعطى ارتفاع حاجز شوتكي  $\Phi_B$  من أجل نصف ناقل من النوع n وفقاً لنظرية شوتكي [11] بالعلاقة :

$$(2) \quad \Phi_B = \Phi_m - \chi$$

حيث  $\chi$  هي الألفة الالكترونية لنصف الناقل (electronic affinity). إن ارتفاع حاجز شوتكي يتبع الحقل الكهربائي في نصف الناقل، وينخفض عند تطبيق جهد الانحياز العكسي  $V_R$ ، ويتبع أيضاً كثافة الحالات السطحية في نصف الناقل، و بما أنه لا يمكن التنبؤ بهذه الكثافة فإنه يجب قياس هذا الارتفاع تجريبياً . في هذا البحث قمنا باستخدام المميزات السعوية (C-V) عند تطبيق جهد انحياز عكسي  $V_R$  لقياس ارتفاع حاجز شوتكي.

يمكن إيجاد سعة ديود شوتكي عند تطبيق جهد انحياز عكسي  $V_R$  عليه [11,12] انطلاقاً من معادلة بواسون :

$$= -\frac{qN_d d^2 V}{\epsilon_s dx^2}$$

حيث  $\epsilon_s$  السماحية الكهربائية لنصف الناقل ،  $N_d$  تركيز الشوائب المانحة (donor impurities

concentration) في قاعدة الديود،  $X$  عرض منطقة النفاذ . بمكاملة معادلة بواسون مرتين نجد أن :

$$(3) \quad X = [2\epsilon_s(V_K + V_R)/qN_d]^{1/2}$$

بالتعويض في معادلة سعة الديود  $C = \frac{\epsilon_s \epsilon}{X}$  نجد:

$$(4) \quad C = \epsilon_s \epsilon / [2\epsilon_s(V_K + V_R)/qN_d]^{1/2}$$

ومنه

$$(5) \quad 1/C^2 = \frac{2(V_K + V_R)}{q\epsilon_s N_d \epsilon^2} = \frac{2(V_K)}{q\epsilon_s N_d \epsilon^2} + \frac{2(V_R)}{q\epsilon_s N_d \epsilon^2}$$

حيث  $S$  مساحة المقطع العرضي للديود المدروس (مقطع منطقة التماس) ، وعند رسم الخط البياني  $1/C^2$  بدلالة  $V_R$  نحصل على مستقيم. نحدد من تقاطعه مع محور السينات الجهد  $V_K$  ، ومن ميله تركيز المانحات  $N_d$  بعد ذلك يحسب ارتفاع حاجز شوتكي من العلاقة :

$$\Phi_B - \Phi_n + V_K + \frac{kT}{q} \quad (6)$$

حيث إن  $\Phi_n$  يعرف بالعلاقة الآتية:

$$\Phi_n = \frac{kT}{q} \ln \frac{N_C}{N_d} \quad (7)$$

حيث  $N_C$  كثافة الحالات الفعالة في قطاع الناقلية لنصف الناقل،  $K$  ثابت بولتزمان،  $T$  درجة الحرارة المطلقة .

### أهمية البحث وأهدافه:

الهدف من هذا البحث:

- 1- دراسة العلاقة بين سعة الديود  $C$  و جهد الانحياز العكسي المطبق عليه  $V_R$  قبل وبعد قذفه بطاقات ليزيرية مختلفة تتراوح بين  $0.2 \text{ kW/cm}^2$  و  $0.4 \text{ kW/cm}^2$  والتعرف على الاختلاف المتوقع في السعة بين الديودات المدنة وغير المدنة ومحاولة تفسير ذلك بالمقارنة مع بعض المراجع [11,12,13].
  - 2- تحديد ارتفاع حاجز شوتكي تجريبيا باستخدام المميزات السعوية  $C-V$  لديود غير ملدن و آخر ملدن عند درجة حرارة  $300 \text{ K}$  ومن ثم دراسة التغير الحاصل له بعد قذف الديودات بطاقات ليزيرية مختلفة .
  - 3 - حساب تركيز الشوائب المانحة  $N_d$  الموجودة في قاعدة الديود قبل و بعد القذف بالليزر للديودات المدروسة والتعرف على التغير الحاصل.
- تأتي أهمية هذا البحث من خلال الاستخدامات الكبيرة والواسعة لديودات شوتكي في كثير من الأجهزة الالكترونية البسيطة والمعقدة وهذا ما يتطلب المزيد من الأبحاث بهدف الوصول لأفضل النتائج .

### طرائق البحث ومواده:

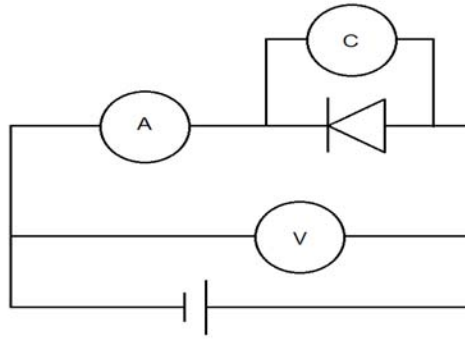
أجريت القياسات على ديود شوتكي قاعدته من زرنيخ الغاليوم GaAs من النوع  $n$  مساحتها  $0.1 \text{ cm}^2$  تتوضع عليها طبقة من النيكل Ni بسماكة  $1.3 \mu\text{m}$ ، من أجل جهود انحياز عكسية تتراوح بين  $(7 - 0) \text{ V}$  عند تردد  $10 \text{ kHz}$  .

تمّ تلدين بعض النماذج بعد تحضيرها في فرن عند درجة حرارة  $450^\circ \text{C}$  لمدة عشر دقائق، ثم قذفت الديودات المدنة و غير المدنة بأشعة ليزيرية نبضية طول موجتها  $1.06 \mu\text{m}$  وزمن النبضة  $10^{-3} \text{ sec}$  .

حصلنا على هذه العينات من مخابر جامعة سانت بطرسبورغ النقانية الحكومية في مدينة سانت بطرسبورغ في روسيا الاتحادية وأجريت القياسات في مخابر جامعة تشرين في المدة الواقعة بين 1-1-2013 و 12-31-2013 م

2013 م

عند دراسة المميزات  $C-V$  استخدمت الدارة الكهربائية الموضحة في الشكل (3) .



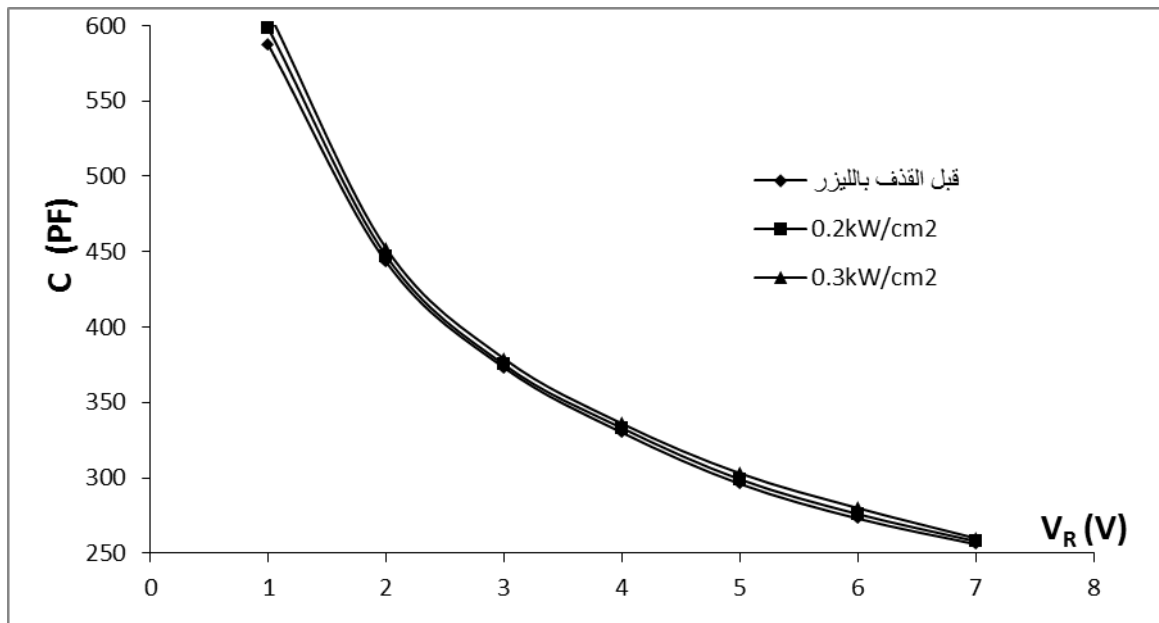
شكل (3) : A: مقياس ميلي أمبير V مقياس فولت C مقياس السعة .

### النتائج والمناقشة:

قمنا بقياس السعة من أجل جهد انحياز يتراوح بين  $(0 - 7)V$  لديود غير ملدن ثم قذف بطاقات  $0.2\text{kW/cm}^2$  و  $0.3\text{kW/cm}^2$  وقيست السعة من جديد فحصلنا على القيم الموضحة في الجدول (1).

جدول (1) : يتضمن قيم سعة الديود غير الملدن قبل و بعد قذفه بطاقات ليزرية مختلفة .

7	6	5	4	3	2	1	جهد الانحياز العكسي $V_R$ (V)
256	273	296	330	373	443	587	سعة النموذج قبل القذف بالليزر C(PF)
258	276	299	333	375	447	598	سعة النموذج C(PF) بعد القذف $0.2\text{kW/cm}^2$
260	280	303	336	379	452	609	سعة النموذج C(PF) بعد القذف $0.3\text{kW/cm}^2$

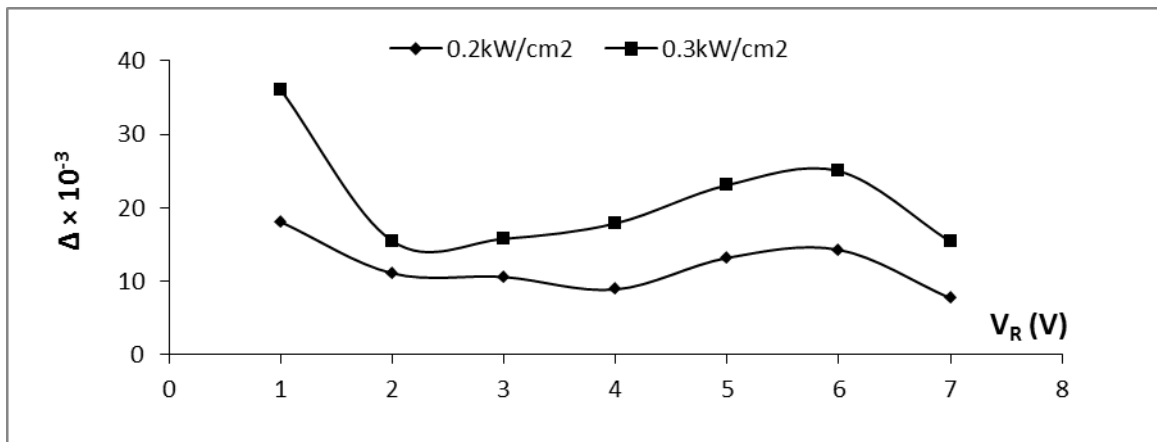


شكل(4) : المميزات C-V لديود غير ملدن قبل وبعد القذف بالليزر عند  $300\text{K}$ .

يلاحظ من الشكل (4) التزايد في قيم هذه السعة مع زيادة طاقة الجرعات الليزرية بين  $(0.2 - 0.3) \text{ kW/cm}^2$  التي تعرض لها الديود مما يشير إلى تزايد في تركيز الشوائب المانحة على حدود منطقة التماس بين المعدن ونصف الناقل وهذا ما يوضحه الجدول (2) . ولما كان هذا التزايد في السعة طفيفاً ، ولكي نتعرف بشكل أكبر على التغير الحاصل لسعة الديود نعرّف عامل الانحراف المعياري السعوي كما يأتي:

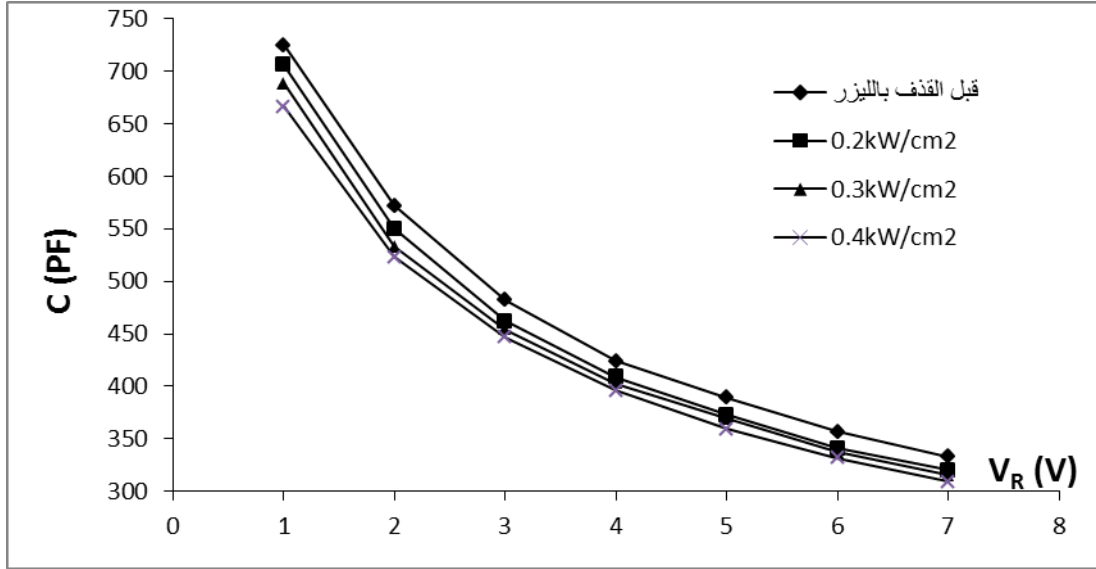
$$\Delta = \frac{|C - C'|}{C}$$

حيث C سعة الديود قبل القذف بالليزر و C' سعة الديود بعد القذف بالليزر بطاقات ليزرية مختلفة ، واستناداً إليه نحصل على الشكل (5) الذي يوضح أن السعة تتزايد مع زيادة طاقة الجرعات الليزرية، فضلاً عن أن سلوك الانحراف السعوي هو سلوك طيفي و ليس خطياً .



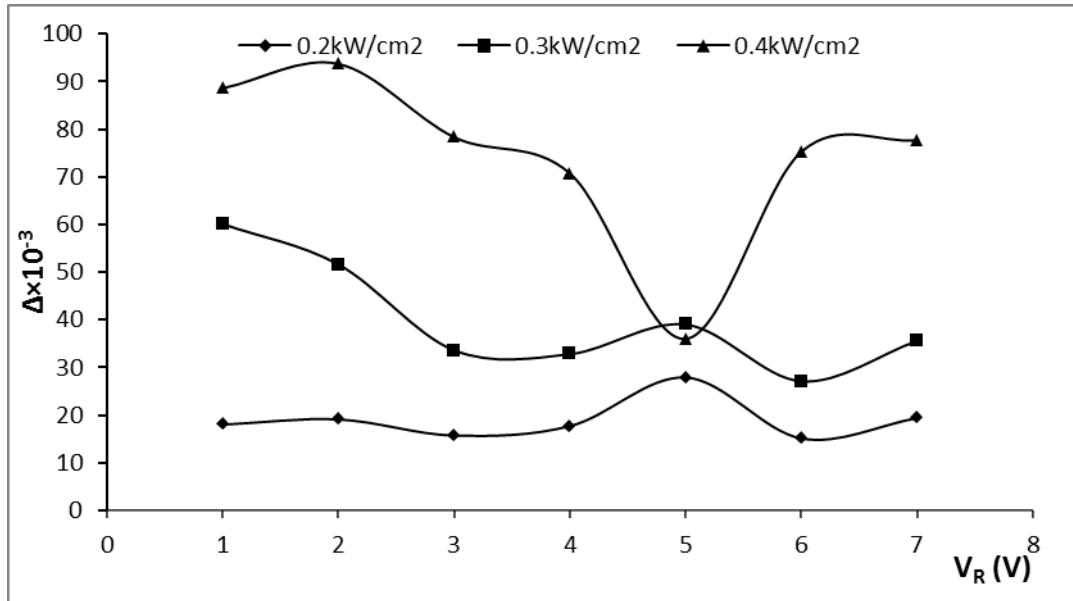
شكل (5) : عامل الانحراف السعوي بدلالة جهد الانحياز لديود غير ملدن قبل القذف بالليزر وبعده عند 300K

أجريت القياسات نفسها على نماذج ملدنة قبل القذف بالليزر وبعده . يوضح الشكل (6) التغير في سعة الديود الملدن، حيث يلاحظ أن سعة الديود تناقصت بشكل واضح مع زيادة طاقة الجرعات الليزرية، وهنا تمكنا من قياس سعة الديود عند جرعة ليزرية قيمتها  $0.4 \text{ kW/cm}^2$  خلافاً للنماذج غير الملدنة التي لم نتمكن من قياس سعتها عند تلك الجرعة ويعزى ذلك إلى زيادة المقاومة السطحية للنماذج الملدنة ،كذلك تبين أن تركيز الشوائب المانحة على حدود منطقة التماس بين المعدن ونصف الناقل قد تزايدت كما هو مبين بالجدول (2) .



شكل (6) : العلاقة بين السعة وجهد الانحياز العكسي لديود ملدن قبل القذف بالليزر وبعده عند 300K .

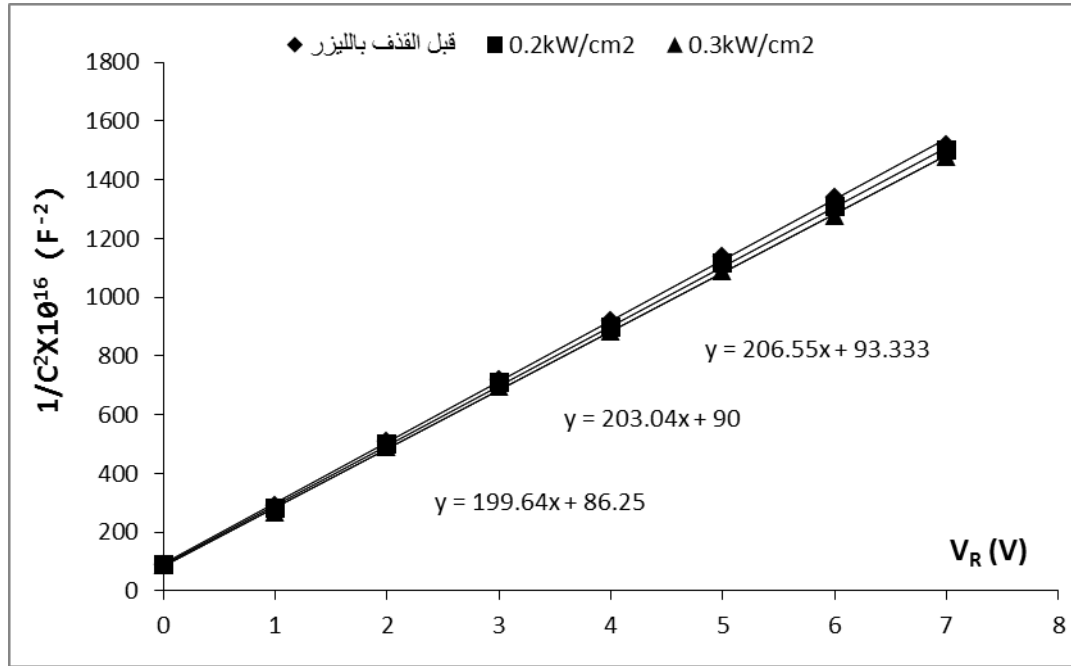
وبشكل مشابه فان الشكل (7) يوضح أن سعة الديود الملدن تتناقص مع زيادة طاقة الجرعات الليزرية ، فضلاً عن أن سلوك الانحراف السعوي هو سلوك لا خطي .



شكل (7) : عامل الانحراف السعوي بدلالة جهد الانحياز لديود غير ملدن قبل وبعده القذف بالليزر عند 300K .

لإيجاد ارتفاع حاجز شوتكي تمّ رسم المنحني البياني الذي يمثل  $1/C^2$  بدلالة جهد الانحياز العكسي  $V_R$  .





شكل (8) : العلاقة بين  $1/C^2$  وجهد الانحياز العكسي  $V_R$  لديود غير ملدن قبل القذف بالليزر وبعده عند 300K

رسم الشكل (8) من أجل ديود غير ملدن، ويلاحظ منه تناقص الميل  $m$  مع تزايد طاقة الجرعات الليزرية، ومن

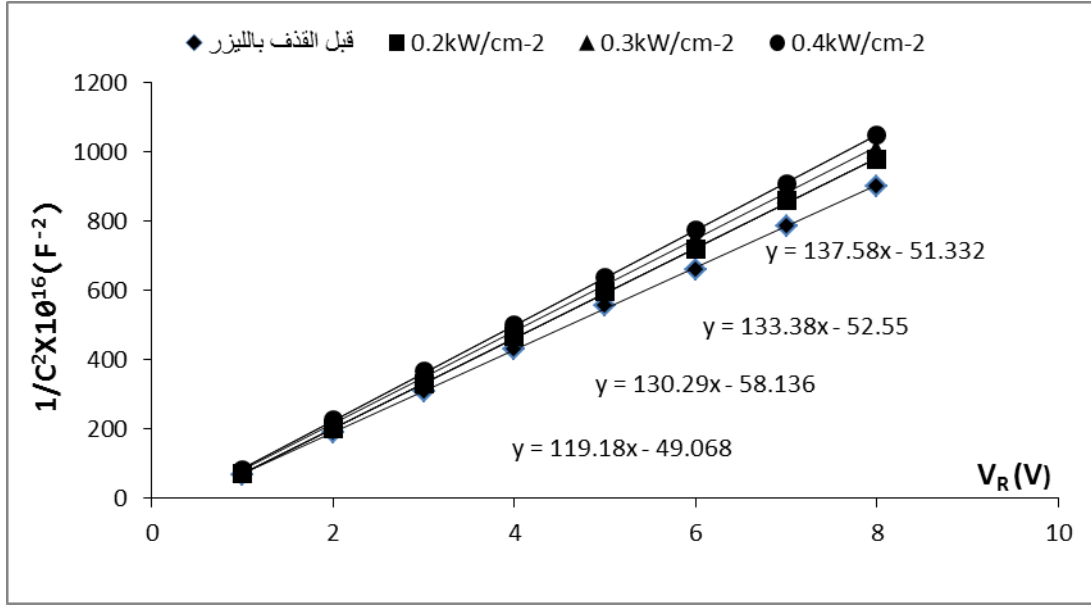
$$N_d = \frac{2}{mq_s^2 a_s} \text{ من العلاقة:}$$

وكان جهد التماس  $V_K$  الناتج من تقاطع هذه المستقيمات مع محور السينات يتراوح بين  $-0.45V$  و  $-0.47V$  كما هو موضح في الجدول (2)، وبمعرفة  $V_K$  يمكن حساب ارتفاع حاجز شوتكي  $\Phi_B$  من العلاقة (6) بعد حساب  $\Phi_n$  من العلاقة (7).

جدول (2) : يتضمن الميل، تركيز الشوائب المانحة، جهد التماس، وارتفاع حاجز شوتكي .

النموذج	الميل ( $F^{-2} V^{-1}$ )	تركيز الشوائب المانحة $N_d (cm^{-3})$	جهد التماس $V_K (V)$	ارتفاع الحاجز $\Phi_B (V)$
قبل القذف بالليزر	$2.06 \times 10^{18}$	$0.63 \times 10^{15}$	$-0.477$	$0.7089$
بعد القذف $0.2kW/cm^2$	$2.03 \times 10^{18}$	$0.64 \times 10^{15}$	$-0.4692$	$0.6998$
بعد القذف $0.3kW/cm^2$	$1.99 \times 10^{18}$	$0.65 \times 10^{15}$	$-0.4578$	$0.6880$

يحتوي الجدول (2) قيم ارتفاع حاجز شوتكي لنماذج غير ملدنة حيث يلاحظ أن هذه القيم تتناقص من  $0.70V$  إلى  $0.68V$  مع زيادة طاقة الجرعات الليزرية المطبقة .



شكل (9) : العلاقة بين  $1/C^2$  وجهد الانحياز العكسي  $V_R$  لديود ملدن قبل القذف بالليزر وبعده عند 300K .

رسم الشكل (9) من أجل ديود ملدن قبل قذفه بطاقات ليزرية مختلفة وبعده ، حيث نجد أن ميل الخطوط البيانية يتزايد بزيادة طاقة الجرعات الليزرية ووجدنا أن تركيز الشوائب المانحة يتناقص أما ارتفاع حاجز شوتكي فقد تزايد أيضاً من 0.79V إلى 0.87V كما هو موضح بالجدول (3) .

جدول (3) : يتضمن الميل ، تركيز الشوائب المانحة ، جهد التماس ، وارتفاع حاجز شوتكي .

النماذج	الميل ( $F^{-2} V^{-1}$ )	تركيز الشوائب المانحة $N_d$ ( $cm^{-3}$ )	جهد التماس $V_K$ (V)	ارتفاع الحاجز $\Phi_B$ (V)
قبل القذف بالليزر	$1.191 \times 10^{18}$	$1.0866 \times 10^{15}$	0.6145	0.8315
بعد القذف $0.2kW/cm^2$	$1.302 \times 10^{18}$	$0.99 \times 10^{15}$	0.5800	0.7990
بعد القذف $0.3kW/cm^2$	$1.333 \times 10^{18}$	$0.97 \times 10^{15}$	0.6323	0.8523
بعد القذف $0.4kW/cm^2$	$1.375 \times 10^{18}$	$0.94 \times 10^{15}$	0.6550	0.8760

يعزى السبب في زيادة تركيز الشوائب المانحة للديودات غير الملدنة باعتقادنا إلى الاندماج المثالي لذرات النيكل في الشبكة البلورية لزرنيخ الغاليوم وهذا يكسب الديود مقاومة سطحية صغيرة مما يؤدي إلى تزايد سعة الديود بزيادة طاقة الجرعات الليزرية المطبقة عليه، وبعد تالدين هذه الديودات تزداد المقاومة السطحية للديودات نتيجة انخفاض حركية الإلكترونات الحرة مما يؤدي إلى تناقص سعة الديود بزيادة طاقة الجرعات الليزرية المطبقة وبالتالي إلى تناقص تركيز الشوائب المانحة .

يمكن حساب ارتفاع حاجز شوتكي انطلاقاً من نظرية شوتكي [1,4,9] وفقاً للعلاقة (2) :

$$\Phi_B = 0.84V$$

حيث أن عمل خرج الإلكترونات من النيكل هو :  $\Phi_{Ni} = 4.91V$  والألفة الإلكترونية لزرنيخ الغاليوم هي :  $X_{GaAs} = 4.07V$  .

إن هذه القيمة قريبة جداً من القيم التجريبية المحسوبة في هذا البحث. أما لو افترضنا أن الحالات السطحية هي التي تحدد قيمة ارتفاع حاجز شونكي [10] فإننا نجد أن هذا الارتفاع  $\Phi = 0.95V$  و  $V_B = 2/3 E_g$  هي قيمة أكبر من القيم المحسوبة للنماذج الملدنة و غير الملدنة مما يدل على أن الحالات السطحية ليست هي السائدة في نماذجنا بل هي حالات المراكز العميقة في طبقة التماس بين المعدن و نصف الناقل وهذا ما سنحاول دراسته في أبحاث قادمة.

### الاستنتاجات والتوصيات :

- إن المميزات C-V للنماذج غير الملدنة والمقذوفة بالليزر أظهرت تزايداً بسيطاً في سعة الديود مع زيادة الجرعات الليزرية غير أن هذه المميزات أظهرت انخفاضاً واضحاً في سعة الديود للنماذج الملدنة عند درجة حرارة 300K .
- تبين لنا أن تركيز الشوائب المانحة في قاعدة الديود تزايدت في النماذج غير الملدنة بينما انخفضت في النماذج الملدنة .
- إن دراسة العلاقة بين  $1/C^2$  و  $V_R$  تظهر تناقص الميل بالنسبة للنماذج غير الملدنة و تزايد للنماذج الملدنة أما ارتفاع حاجز شونكي فقد انخفض في النماذج غير الملدنة مع تزايد الجرعات الليزرية وارتفع في النماذج الملدنة.
- هذه الدراسة تظهر أن الحالة السائدة للنماذج المدروسة ليست سطحية إنما هي حالة المراكز العميقة التي تتطلب منا دراسة جديدة في المستقبل .
- يمكننا متابعة هذا العمل لاحقاً بدراسة الخواص الكهربائية لهذه الأنواع من الديودات .

### المراجع:

- [1] FUGIEDA, S. "Control of GaAs Schottky barrier height by formation of a thin off-stoichiometric GaAs interlayer grown by low-temperature molecular beam epitaxy," Applied Physics Letters, vol. 61, no. 3, (1992), pp. 288–290.
- [2] ALAA EL-DINSAYED HAFEZ and MOHAMED ABD EL-LATIF: Optimum Barrier Height for SiC Schottky Barrier Diode, IEEE Alexandria University, Alexandria 21913, Egypt, Received 4 April (2013); Accepted 13 June (2013).
- [3] YI-WEI LIAN, YU-SYUAN LIN, JUI-MING YANG, AlGaIn/GaN Schottky Barrier Diodes on Silicon Substrates With Selective Si Diffusion for Low Onset Voltage and High Reverse Blocking, IEEE ELECTRON DEVICE LETTERS, VOL. 34, NO. 8, AUGUST (2013).
- [4] HUSSAIN, M. Y. SOOMRO, N. BANO, O. NUR, and M. WILLANDER: Systematic study of interface trap and barrier in homogeneities using I-V-T characteristics of Au/ZnO nanorods Schottky diode, J. Appl. Phys, 113, 234509, (2013).
- [5] Г.С.АЛТЫБАЕВ;С.Е.КУМЕКОВ;А.А.МАХМУДОВ. Энергетическое распределение неравновесных электронов и оптических фононов в GaAs при межзонном поглощении мощных коротких импульсов света, физика и техника полупроводников, том 43, вып.3, (2009).

- [6] И.Г. АТАБАЕВ, Н.А. МАТЧАНОВ, М.У. ХАЖИЕВ, В.ПАК, Т.М. САПИЕВ, *влияние различных химических обработок поверхности на высоту барьеров Al-p-SiGe, Au-n-SiGe*, физика и техника полупроводников, том 44, вып.5, (2010).
- [7] Г.А.БОРДОВСКИЙ, С.А.НЕМОВ, Н.И.АНИСИМОВА, И.А.ДЗЕМИДКО, А.В.МАРЧЕНКО, П.П.СЕРЕГИН, *Фотоструктурные перестроения полупроводниковых стыкол As-Si As-Se*, физика и техника полупроводников, том 43, вып.3, (2009).
- [8] С.Ю.ДАВЫДОВ, А.А.ЛЕБЕДЕВ, О.В.ПОСРЕДНИК, Ю.М. ТАИРОВ, *Контакт металл-карбид кремния : зависимость высоты барьера шоттки от полупроводника SiC*, физика и техника полупроводников, том 35, вып.12, (2001).
- [9] SZE, S. M "Physics of semiconductor devices", (1981).
- [10] DONALD, A. NEAMEN, "Semiconductor physics and devices ", (1997).
- [11] ISMAIL K. ABBAS and ZAHRAA H. AHMED, *Study of the Electrical Characteristics of Schottky Organic Semiconductor (n-Malachite green), Diode*, J. Alrafidain Sciences, vol.22, no.3, (2011), pp.111-121.
- [12] NAWAF YOUSIF JAMIL and MOHAMMED NOOR KHADER, *Effect of Gamma Rays on Schottky Diodes of Au/n-Si type*, Jordanian J. for Phys. Vol.5, no. 3, (2012), pp.149-157.
- [13] MOONGYU JANG and JUNGHWAN LEE, " *Analysis of Schottky barrier height in small contacts using a Thermionic- field emission model*" ETRL Journal, volume 24 Number6, December (2002).