

التشوهات الاشعاعية في البنى البلورية

* الدكتور مفيد عباس

** الدكتور محي الدين نظام

*** عبد الله طالب

(تاريخ الإيداع 8 / 2 / 2016. قُبل للنشر في 26 / 6 / 2016)

□ ملخص □

تؤدي عملية تشعيع عينة كريستالية إلى حصول تشوهات في هذه العينة ، وتنتج هذه التشوهات عن انزياح الذرات من أماكنها النظامية في الشبكة وتوضعها في أماكن غير نظامية كما تنتج هذه التشوهات ، لكن بمقدار أقل بكثير ، من جسيمات الحزمة (الجسيمات الغربية) المتوضعة داخل العينة .
يتعلق عمق ومقدار هذه التشوهات بمتحولات التشعيع، ويمكن تحديد مقاطع التوزع العمقي للتشوهات بطريقة RBS (Rutherford Back Scattering) ، لكن حساسية هذه الطريقة غير كافية لتحديد التوزع العمقي لكثافة جسيمات الحزمة المتوضعة داخل العينة .
يتعلق عمق توزع قمة مقطع RBS بشدة بزاوية توجيه قناة ما من العينة بالنسبة إلى حزمة التشعيع وكذلك بنوع القناة. حيث تنزاح قمة مقاطع RBS في التشعيع القنوي نحو العمق مقارنة مع نظيرتها في التشعيع العشوائي ويتعلق مقدار هذا الانزياح بمتحولات التشعيع .
يزداد ارتفاع قمة مقاطع RBS مع زيادة جرعة التشعيع القنوي ، ويسمى الارتفاع الذي لا يمكن تجاوزه بحالة الأمورف والجرعة الموافقة بجرعة الأمورف وتتعلق جرعة الأمورف أيضا بمتحولات التشعيع وخاصة درجة حرارة العينة.

الكلمات المفتاحية: عينة كريستالية ، تشعيع ، زرع ايوني ، تشوه إشعاع ، توزع عمقي ، كبح الكتروني

* أستاذ - قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية .

** أستاذ مساعد - قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية .

*** طالب دراسات عليا (ماجستير) - قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية .

Radiation Damages in Crystalline Structure

Dr. Mufid Abbas^{*}
Dr. Mohey- Aldin Nizam^{**}
Abdulla Taleb^{***}

(Received 8 / 2 / 2016. Accepted 26 / 6 /2016)

□ ABSTRACT □

The radiating process of a crystalline sample cause damages in this sample .These damages composed mostly of displaced sample atoms from their regular position in lattice, and placed in irregular position, and of very less quantity from some beam particles (strange particles) , that placed inside of this sample.

The depth and amount of these damages are correlating with radiating parameters. It's possible to estimate the depth distribution profiles of damages by RBS-Method, but the sensitivity of this method is not enough to determine the depth distribution of concentration of beam particles , that placed inside of the sample .

The placement depth of RBS-Profiles top is strongly correlated with orientation angle of a sample's channel relative to radiating beam also to kind of channel ,whereas the RBS-Profiles top displaces in depth , in channel radiation compare with its counter part in random radiation and the displacement value correlates with radiation parameters

The height of RBS-Profiles top increase by increasing of radiation dose, and height that can't be survived called amorph state , and the agreeing dose called ,amorph dose , the amorph dose correlates also with radiation parameters, special sample temperature

Key Words: Crystalline Sample, Radiation, Ion Implantation, Radiation Damage, Depth Distribution, Electronic Stopping.

^{*}Professor, Department of Physics, Faculty Science, Tishreen University, Lattakia, Syria

^{**}Assistant Professor, Department of Physics, Faculty Science, Tishreen University, Lattakia, Syria

^{***}Postgraduate Student, Department of Physics, Faculty Science, Tishreen University, Lattakia, Syria

مقدمة :

يسعى الإنسان من خلال تشعيع العينات الكريستالية إلى تغيير الخصائص الميكانيكية، الكهربائية، الكيميائية،...، وغيرها، لهذه العينات أو حتى إلى إنتاج بنى الكترونية من جسيمات الحزمة (الجسيمات الغريبة) داخل العينة بحيث تكون هذه البنى الالكترونية ذات حجم صغير جداً وكفاءة عالية وعمر طويل واستخدامات واسعة [1].

بدأ البحث في عمليات التشعيع (وتسمى أحياناً بالزرع الأيوني لأن معظم الحزم المسرعة المستخدمة في عمليات التشعيع هي ذرات مؤينة) في خمسينيات القرن الماضي، وتم ذلك بداية في الاتجاه العشوائي لعينات هدف ذات بنى كريستالية مثل: السيليكون Si، الجرمانيوم Ge، الغاليوم آرزين GaAs، وجرت أولى عمليات التشعيع في الاتجاه القنوي في العام 1957 من قبل الفيزيائي Shockely [2]، وتم في العام 1962 صنع كاشف للإشعاع من السيليكون (Si) المشاب بالفوسفور (P) ووضع الفيزيائيون Lindhard, Scharff, and Schiøt نظريتهم ويرمز لها بـ (LSS)، (وهي الأحرف الأولى من أسمائهم)، التي تبحث في تفاعل حزم الأيونات المسرعة مع المادة [3] وقد تزامن ذلك مع البدء بالعديد من الأبحاث التجريبية حول التشعيع بالاتجاه القنوي لعينة هدف كريستالية، ولقد كانت أولى الأعمال في مجال التوزع العمقي للكثافة الجسيمية تجريبية، تم فيها التشعيع في الاتجاه القنوي وأما القياس التجريبي للكثافة فقد تم باعتماد بقايا النشاط الإشعاعي للجسيمات المشحونة التي تم التشعيع بها [4].

تعتبر الآن عملية تشعيع الرقائق الكريستالية بوساطة حزم الجسيمات المسرعة بغية إشابتها بأنواع معينة من الجسيمات وعلى أعماق محددة، من أهم الطرائق في إنتاج البنى الالكترونية المستخدمة في الصناعات الالكترونية الدقيقة، وخاصة في صناعة الحواسيب [5].

أهمية البحث وأهدافه :

يهدف هذا البحث إلى دراسة التشوهات التي تسببها عمليات التشعيع في الاتجاه القنوي ومقارنتها مع التشوهات التي يسببها التشعيع في الاتجاه العشوائي، وكيف يمكن زرع جسيمات غريبة من أنواع محددة داخل العينات الكريستالية بحد أدنى من التشوهات وبحيث تتوزع هذه الجسيمات الغريبة بطريقة مناسبة داخل الشبكة البلورية للعينة. تتلخص أهمية هذا البحث بأنه يعالج مسألة عصرية وذات تطبيقات عملية كثيرة وهامة خاصة في الصناعات الالكترونية الدقيقة والكهربائية. حيث يمكن الحصول من العينات الكريستالية المشععة بأنواع محددة من الجسيمات على ديودات وترانستورات ذات كفاءة عالية، وتكون جودتها أعلى كلما كانت التشوهات المرافقة لعملية التشعيع أقل.

طرائق البحث ومواده :

تم في هذا البحث استخدام بيانات تجريبية من المراجع الورقية والإلكترونية ومن ثم معالجة هذه البيانات بطرائق بيانية وباستخدام تقنيات الحاسوب (برنامجي Cassay lab و Excel) نرسم المنحنيات البيانية للحصول على علاقات تربط المتحولات والقيم ببعضها البعض.

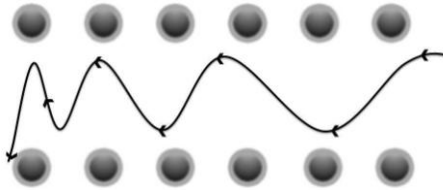
وجرت في نطاق هذا العمل محاولة لتحليل وتفسير النتائج بهدف الوصول إلى فهم أفضل لعملية التشعيع. ونظراً لعدم توفر مسرعات جسيمية لم تكن هناك حاجة لأية مواد أو نفقات، بالرغم من أن هذا تحليلي كونه تعامل دراسة وتحليلاً مع بيانات تجريبية.

حركة جسيمات الحزمة داخل العينة في أثناء عملية التشعيع

تتعلق حركة الجسيمات المستخدمة في عملية التشعيع ، وشكل مسارها بمتحولات التشعيع وهي : طاقة تسريع الجسيمات، نوع جسيمات الحزمة ، تركيب العينة وخصائصها ، زاوية توجيه الحزمة بالنسبة لإحدى قنوات العينة ونوع هذه القناة ، درجة حرارة العينة أثناء عملية التشعيع ، درجة التخلية في الأنابيب التي تسير ضمنها حزمة الجسيمات وفي الحجرة التي تتواجد ضمنها العينة .

يسمى التشعيع قنوي (Channel Radiation) عندما تنطبق حزمة الإشعاع على محور القناة في حال كانت القناة محورية أو تنطبق على مستوي القناة في حال كانت مستوية وما عدا ذلك فهو غير قنوي ، أما عندما تصنع الحزمة زاوية مقدارها من 7° إلى 8° فعندها يكون التشعيع عشوائياً أما من أجل الزاوية المحصورة بين 0° و 7° فإن التشعيع غير قنوي تماماً وغير عشوائي تماماً وإنما بين بين ، حيث يسير جزء من الجسيمات داخل القناة خاضعاً للمفعول القنوي ويترك الجزء الآخر القناة منذ بداية لاخترق ليسير بشكل عشوائي وتتعلق النسبة بين الجزئين بدرجة انتظام الذرات في جدران القناة وبكثافة هذه الذرات وكذلك بقيمة الزاوية [6].

تخضع الجسيمات التي تسير ضمن القناة إلى ما يسمى بالمفعول القنوي وهي عملية احتفاظ القناة بهذه الجسيمات ضمنها ، لكن تعاني هذه الجسيمات أثناء سيرها من تأثيرات متبادلة مع كل من الكترونات ونوى الذرات المشكلة لجدران القناة ويسميان ، على الترتيب ، الكبح الالكتروني ورمزه S_e والكبح النووي ورمزه S_n ، ويسبب هذين المفعولين ضياع في طاقة الجسيم المتحرك ضمن القناة وبالتالي انخفاض سرعته مترافقاً مع تغير في مساره حيث يتناقص طول الموجة التي تشكل المسار ويزداد عرض جبهتها مما يؤدي كما يوضح الشكل التخطيطي (1) إلى رفع احتمالية خروج الجسيم من القناة وحركته بعشوائية مسبباً تشوهات في بنية العينة



الشكل (1) شكل تخطيطي يظهر تغير مسار الجسيم السائر ضمن القناة

يعطى الكبح النووي الذي يخضع له الجسيم المتحرك ضمن قناة بالعلاقة [7] التالية :

حيث :

$d\sigma = 2\pi PdP$ المقطع العرضي التفاضلي للتأثير المتبادل مع النواة ، P متحول التصادم ، T_m القيمة العظمى للطاقة القابلة للانتقال في عملية التصادم مباشر ، N عدد التصادمات .
ويعطى الكبح الالكتروني الذي يخضع له الجسيم المتحرك ضمن قناة بالعلاقة [8] التالية :

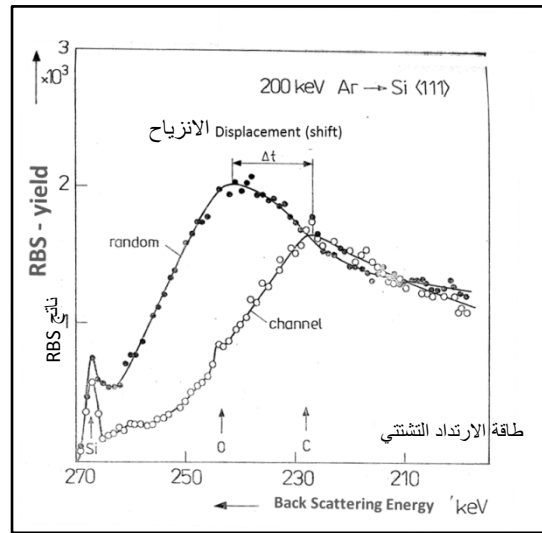
حيث : T_e الطاقة الضائعة الكلية ، P متحول التصادم .

يكون الكبح النووي S_n مهمل عندما يسير الجسيم قريب من مركز القناة والتأثير الغالب في هذه الحالة هو الكبح الالكتروني S_e ، أما عندما يتجه الجسيم باتجاه مركز ذرة من ذرات الصفوف المشكلة للقناة ، تنعكس الآية

ويصبح التأثير الغالب على حركة الجسم هو الكبح النووي S_n مع بقاء الكبح الالكتروني وحتى زيادته، إلا أن الكبح النووي يكون أكبر بكثير في هذه الحالة [9].

التشيع في الاتجاهين العشوائيين والقنوي ومقاطع RBS

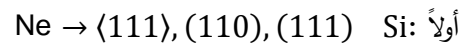
تختلف مقاطع RBS الناتجة عن التشيع في الاتجاه العشوائي عن نظيرتها الناتجة عن التشيع في الاتجاه القنوي، حيث تكون قمة التشوهات الإشعاعية في العينة المشعة في الحالة الأولى أعلى وأقرب إلى سطح العينة من نظيرتها في الحالة الثانية أما القمة المتشكلة قرب السطح والناتجة عن ارتداد البروتونات عن الذرات السطحية للعينة فتقع على نفس العمق في الحالتين لكنها في الحالة الأولى أعلى منها في الحالة الثانية ويعزى ذلك إلى التشوهات السطحية الأكبر في الحالة الأولى مقارنة مع نظيرتها في الحالة الثانية، وذلك عند التشيع بنفس الشروط (نفس الجسيمات، نفس الاتجاه ونفس العينة، نفس طاقة التسريع، نفس الجرعة، نفس درجة الحرارة في الحالتين). ويظهر الشكل (2)[10] مقارنة بين مقطعي RBS في الاتجاهين العشوائيين والقنوي.



الشكل (2)[10] مقارنة بين مقطعي RBS في الاتجاهين العشوائيين والقنوي

تنزاح قمة مقاطع التشوهات الإشعاعية في مقطع RBS في الاتجاه القنوي عن نظيرتها في الاتجاه العشوائي وذلك عندما يتم التشيع في الحالتين بنفس الشروط. ويختلف هذا الانزياح مع اختلاف طاقة التسريع وبتزايد هذا الانزياح مع زيادة طاقة التسريع ولقد تم في نطاق هذا العمل استخدام البيانات من المراجع [52] لدراسة تغيرات الانزياح (Δx) بتابعة طاقة التسريع E وتم من أجل ذلك تمثيل Δx بيانياً بتابعة E من أجل عمليات تشيع مختلفة (جسيمات مختلفة واتجاهات مختلفة في عينات من السيلكون (Si)).

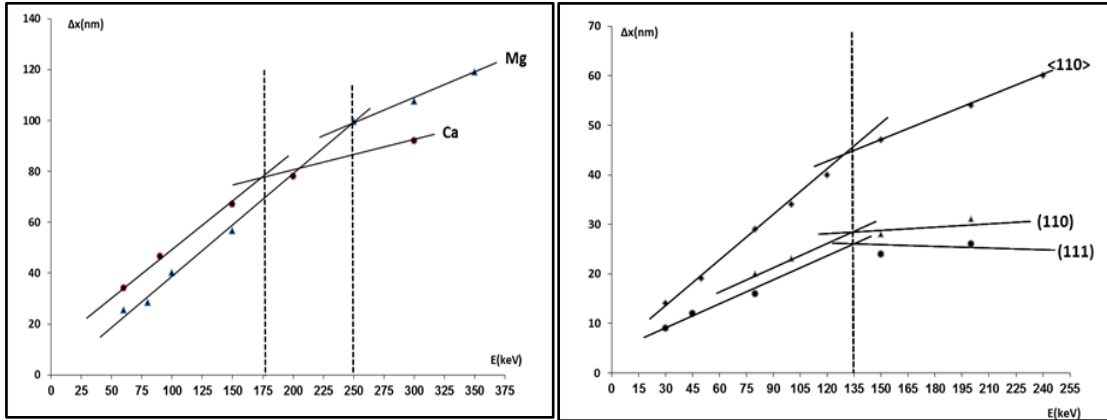
تظهر الأشكال (3-4-5-6) الانزياح Δx لقمة التشوهات في الاتجاه القنوي عن مثيلتها بطاقة التسريع في الاتجاه العشوائي بتابعة الطاقة. من أجل عمليات التشيع المختلفة التالية:



حيث يرمز القوسين $\langle \rangle$ إلى اتجاه محوري والقوسين $()$ إلى اتجاه مستوي



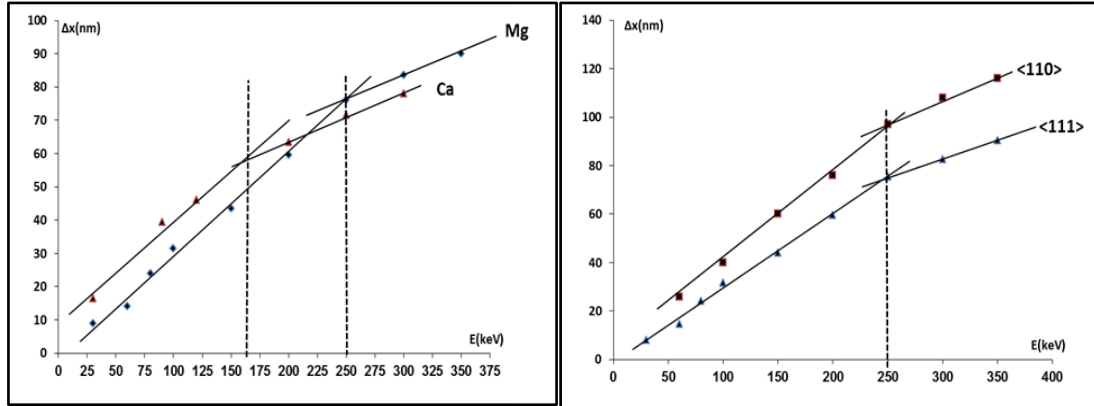
رابعاً : SiAr $\langle 111 \rangle$, $\langle 110 \rangle$ →



الشكل (4) Δx بتابعة E من أجل التشعيع

الشكل (3) Δx بتابعة E من أجل التشعيع

Ne → $\langle 111 \rangle$, $\langle 110 \rangle$, $\langle 111 \rangle$ Si → $\langle 110 \rangle$ SiCa , Mg



الشكل (6) Δx بتابعة E من أجل التشعيع

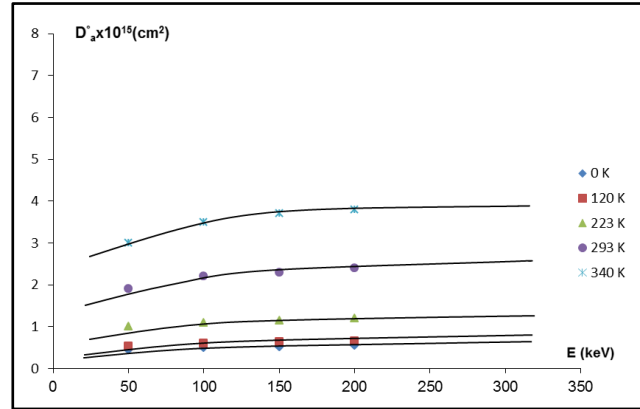
الشكل (5) Δx بتابعة E من أجل التشعيع

→ $\langle 111 \rangle$ Si Ca , Mg → $\langle 110 \rangle$, $\langle 111 \rangle$ SiAr

تظهر الخطوط البيانية في الأشكال الأربعة (3)، (4)، (5)، (6) أن كل منها عبارة عن مستقيم منكسر يتألف من مستقيمين) وعند تحديد طاقة التسريع E_0 على المحور الأفقي المقابلة لموضع الانكسار في كل من هذه الخطوط ومن ثم حساب السرعة v_0 المقابلة لكل من هذه الطاقات باستخدام العلاقة:

جرعة الأمورف

تزداد التشوهات الإشعاعية التي تصيب العينة خلال عملية التشعيع مع زيادة الجرعة الجسيمية (عدد الجسيمات التي تسقط على وحدة السطح من العينة خلال كامل عملية التشعيع) وتسمى لجرعة التي يصل من أجلها ارتفاع قمة التشوهات في الاتجاه القنوي إلى ارتفاع التشوهات التي يسببها التشعيع في الاتجاه العشوائي بجرعة الأمورف وسيرمز لها في سياق هذا العمل بالرمز (D_a°) تتعلق جرعة الأمورف بمتحولات التشعيع ، ولا يمكن زيادة ارتفاع قمة RBS بزيادة الجرعة بعد الوصول إلى حالة الأمورف ولكن يمكن زيادة عرض القمة بزيادة الجرعة (جرعة التشعيع)[12]. تم رسم الخط البياني لجرعة الأمورف (D_a°) بتابعة طاقة التسريع E بدرجات حرارة مختلفة ، باستخدام بيانات من المرجع [13]، وذلك من أجل دراسة تأثير كل من طاقة التسريع E ودرجة الحرارة T على جرعة الأمورف .



الشكل (7) جرعة الأمورف بتابعة طاقة التسريع E من أجل التشعيع SiAr (111) → بدرجات حرارة مختلفة

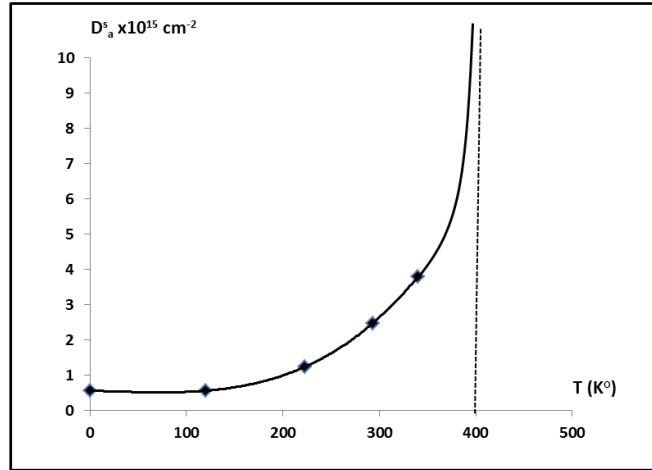
تزداد قيمة جرعة الأمورف اللازمة للحصول على حالة الأمورف ، كما يظهر الشكل [7] ، مع زيادة طاقة تسريع الحزمة ومع ارتفاع درجة حرارة العينة ، لكي تستقر قيمتها تقريباً بعد تجاوز الطاقة معينة بثبات درجة الحرارة وهذه القيمة المعينة للطاقة هي نفسها من أجل جميع درجات الحرارة من أجل التشعيع SiAr (110) → ولم تتوفر بيانات مناسبة حول تشعيعات أخرى لتعميم هذه النتيجة .

يتضح من الشكل (7) أن هناك قيمة واحدة للطاقة هي (250 keV) تقريباً تثبت بعدها قيمة جرعة الأمورف من أجل كل درجة حرارة وعند حساب قيمة سرعة الجسيم الذي هو ($^{40}_{18}\text{Ar}$) في هذه الحالة ينتج أن $v = 1.1 \times 10^6 \text{ m/s}$. وهي نفسها قيمة السرعة التي تتغير من أجلها علاقة انزياح قمة التشوهات بالطاقة ، والموضحة في الأشكال (3)،(4)،(5)،(6) السابقة .

سيرمز للقيمة العظمى الثابتة التي لا تتجاوزها جرعة الأمورف مهما زادت طاقة التسريع بـ (D_a^S) وسيطلق عليها جرعة الإشباع الأمورفي ويعطي تحديدها البياني من الشكل (7) من أجل كل درجة حرارة ، القيم المدرجة في الجدول (1) التالي :

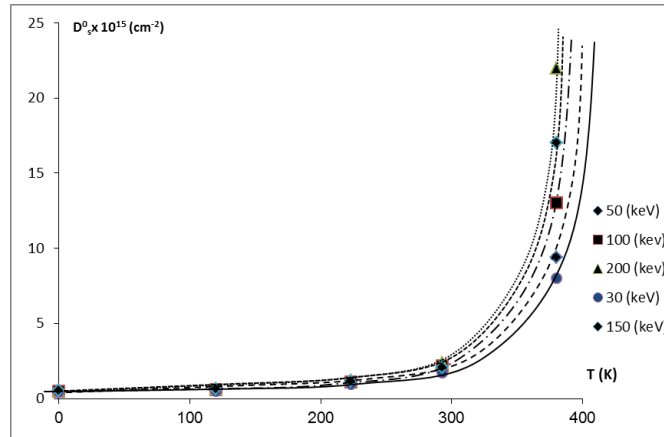
الجدول (1) جرعة الإشباع الأمورفي من أجل درجات حرارة مختلفة للتشعيع SiAr (110) →

درجة الحرارة T(K°)	0	120	223	293	340
جرعة الإشباع الأمورفي	0.56	0.67	1.24	2.47	3.8

الشكل (8) جرعة الإشعاع الأمورفي D_a^s بتابعة درجة الحرارة من أجل

التشعيع SiAr (111) →

يمكن دراسة علاقة جرعة الإشعاع الأمورفي (D_a^s) بدرجة الحرارة (T) للعينة بيانياً من أجل التشعيع SiAr (110) → عن طريق رسم الخط البياني (D_a^s) بتابعة T والذي يوضحه الشكل (8) والذي يظهر أن هذه العلاقة أسية يمكن الحصول عليها باستخدام تقنيات Cassy Lab وهي: (4) $D_a^s = 0.2e^{\left(\frac{T}{120.4}\right)}$ يظهر الخط البياني أن قيمة (D_a^s) تسعى إلى ∞ عندما تسعى T إلى القيمة $400 K^\circ$ تقريباً .



الشكل (9) جرعة الأمورف بتابعة درجة الحرارة من أجل طاقات مختلفة

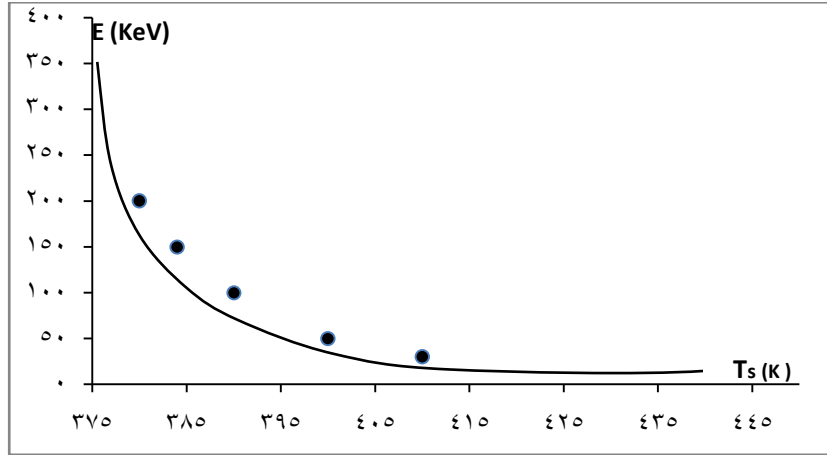
ويظهر رسم D_a^o بتابعة T من أجل خمس طاقات مختلفة ، الشكل (9) تظهر الخطوط البيانية في الشكل (9) ثانياً وجود قيم إشعاع لجرع الأمورف ، وهي القيمة التي لا تتجاوزها D_a^o مع زيادة درجة الحرارة وتختلف هذه القيمة باختلاف الطاقة ويلاحظ هنا أن قيم D_a^o تسعى إلى ∞ من أجل قيم محددة لدرجة الحرارة تختلف باختلاف الطاقة وعند الرمز بـ T_s لدرجة الحرارة التي تسعى من أجلها D_a^o إلى ∞ فإنه يمكن الحصول بيانياً من الشكل (9) على قيم T_s المقابلة لقيم الطاقة المختلفة والدرجة في الجدول (2) التالي:

الجدول (2) قيم درجات الحرارة المختلفة التي لا يمكن الحصول على الأمورف من أجل درجات الحرارة الأعلى من أجل قيم الطاقة المختلفة

E (keV)	30	50	100	150	200
	410	400	390	384	380

ويمكن بيانياً استنتاج علاقة E بـ T_s بيانياً عن طريق رسم الخط البياني بينهما الشكل (10) والذي أمكن من خلاله باستخدام برنامج الـ (Cassy Lab) الحصول على المعادلة :

$$E = 2.991 \times 10^{13} e^{\left(\frac{-T_s}{14.8}\right)} \quad (5)$$



الشكل (10) طاقة التسريع بتابعة درجة حرارة الإشعاع T_s من أجل SiAr (111) →

النتائج والمناقشة:

أولاً

يمكن تفسير الارتفاع الأدنى والتوضع الأعمق لقمة مقاطع RBS في حال التشعيع القنوي مقارنة مع نظيرتها في حال التشعيع العشوائي والموضحة في الشكل (2) كما يلي :

تصنع جسيمات الحزمة زاوية من 7° إلى 8° مع محور القناة من البداية (من السطح) في حال التشعيع العشوائي وهذه الزاوية هي المناسبة لإصابة العدد الأكبر من جسيمات الحزمة للذرات المشكلة لجدران الألفية وإزاحة عدد كبير منها في المنطقة القريبة مشكلة بذلك العدد الأكبر من الإزاحات (قمة التشوه) الموافق لقمة RBS ، بينما وبحسب الشكل (1) يجب ان تفقد الجسيمات المتحركة ضمن القناة في حال التشعيع القنوي مقدار من طاقتها ليتحول مسارها الموجي بحيث يتجه قسم منها نحو جدران القناة ليصيب بعض من هذه الجسيمات جدران القناة ومن الواضح أن على الجسيمات اجتياز مسافة لتحقيق هذا الشرط وهذه المسافة تمثل انزياح قمة RBS للتشعيع القنوي عن نظيرتها للتشعيع العشوائي ، ومن الواضح أن الجسيمات القريبة من جدران القناة فقط في حال التشعيع القنوي هي التي يمكن أن يتحول مسارها الموجي بحيث تتجه بزاوية من 7° إلى 8° باتجاه جدران القناة بينما تتجه جميع جسيمات الحزمة نحو جدران القناة بزاوية من 7° إلى 8° وهذا ما يفسر العدد الأكبر من الانزياحات (قمة RBS الأعلى) في التشعيع العشوائي مقارنة مع القنوي .

تحتاج الجسيمات للسير مسافات أطول ضمن القناة ، كلما زادت طاقتها ، لتتقصر طاقتها وتصبح صغيرة ما يكفي لتمكين الاهتزازات الحرارية لجدران القناة من تحويل مسارها الموجي بحيث تتجه بزاوية من 7° إلى 8° نحو جدران

القناة، وهذا هو سبب زيادة عمق توضع قمة RBS كلما زادت طاقة التسريع في حال التشعيع القنوي وبالتالي زيادة الانزياح Δx مع زيادة طاقة التسريع .

يزداد الانزياح Δx كما توضح الأشكال (3)، (4)، (5)، (6) مع زيادة طاقة التسريع إلا ان معدل الزيادة في Δx

يتناقص بعد تجاوز الجسيم للسرعة ($v_0 = 1.1 \times 10^6$ m/s) الأمر الذي يمكن تفسيره كما يلي :

يحيط بذرات الصفوف المشكلة لجران القناة قطاع محظور يتناقص نصف قطره مع زيادة سرعة الجسيم الذي يسير بموازته وبعد تجاوز السرعة القيمة v_0 تصبح الجسيمات قريبة من نوى الذرات بما يكفي ليتدخل التأثير المتبادل مع النوى S_n بفعالية أكبر مما لو كانت السرعة أدنى من القيمة v_0 مما يؤدي إلى تناقص معدل الاختراق مع زيادة الطاقة .

ثانياً

• يقصد بحالة الأمورف على عمق ما من العينة ، أن جميع ذرات العينة عند هذا العمق قد أزيحت من أماكنها النظامية أي أن تشوه كامل قد حصل عند هذا العمق ولا توجد ذرات في مواقع نظامية تمكن إزاحتها عن طريق زيادة الجرعة ، لذلك تسمى الجرعة الموافقة لهذه الحالة بجرعة الأمورف ، ولكن يمكن زيادة سماكة طبقة الأمورف بزيادة الجرعة .

• يؤدي رفع درجة حرارة العينة أثناء تشعيعها إلى زيادة سعة وسرعة اهتزاز ذراتها مما يمكن قسم من الذرات المزاحة من العودة إلى أماكنها النظامية وتتناسب نسبة الذرات المزاحة مع ارتفاع درجة حرارة العينة بحيث يجب زيادة الجرعة للوصول إلى حالة الأمورف كلما ارتفعت درجة حرارة العينة وهذا ما يتضح من الشكل (7) وبعد تجاوز درجة حرارة العينة قيمة محددة هي حوالي $400 K^\circ$ بالنسبة للسليكون فإنه وبحسب الشكل (9) لا يمكن الوصول مطلقاً إلى حالة الأمورف أثناء التشعيع القنوي بسبب المعالجة الحرارية أثناء التشعيع

• تؤدي زيادة طاقة التسريع في التشعيع القنوي إلى عبور الجسيمات بسرعة بجوار ذرات العينة بحيث ان زمن إقامتها في الجوار المباشر لذرات العينة أقصر من الزمن اللازم لحصول التأثير المتبادل معها لذلك يتناقص احتمال التسبب بالتشوهات مع زيادة طاقة التسريع . لكن بعد وصول طاقة التسريع إلى القيمة المقابلة للسرعة $v_0 = 1.1 \times 10^6$ m/s تقريباً يصبح عرض القطاع المحظور المحيط بصفوف أو مستويات الذرات المشكلة للقناة أدنى ما يمكن وبالتالي تقترب الجسيمات ذات السرعة الأعلى من v_0 من ذرات القناة مسافة كافية لحصول التأثير المتبادل ولا تؤدي زيادة طاقة التسريع بعدها إلى انقاص مسافة الاقتراب لذلك تثبت جرعة الأمورف بعد هذه السرعة .

الاستنتاجات والتوصيات :

الاستنتاجات

- (1) تكون قمة التشوهات في التشعيع العشوائي أقرب إلى سطح العينة من نظيرتها في التشعيع القنوي وتتعلق المسافة بينهما بطاقة التسريع وفق علاقتين خطيتين مختلفتين تفصلهما قيمة طاقة تختلف باختلاف الجسيم كما أن قيمة الطاقة هذه تقابل سرعة ثابتة مهما اختلف الجسيم المستخدم في عملية التشعيع ضمن نفس العينة
- (2) تزداد الجرعة اللازمة للوصول إلى حالة الأمورف في التشعيع القنوي مع زيادة كل من درجة حرارة العينة وطاقة تسريع الجسيمات بحيث أنه لا يمكن الوصول إلى حالة الأمورف بعد رفع درجة الحرارة عن قيمة معينة مهما أنقصت طاقة التسريع ، وتأخذ جرعة الأمورف قيمة ثابتة من اجل كل درجة حرارة بعد تجاوز طاقة التسريع قيمة معينة

تقابل قيمة سرعة ثابتة لا تختلف باختلاف الجسيم وهي تساوي قيمة السرعة التي تفصل العلاقتين الخطيتين لانزياح قمة التشوه القنوي عن العشوائي.

التوصيات :

يمكن اقتراح محاولة الحصول على بيانات حول ثنائيات تشعيع مختلفة عن تلك التي تمت دراستها في هذا البحث في حال تعذر القيام بقياسها تجريبياً نظراً لعدم توفر المسرعات اللازمة ، وذلك من أجل تعميم نتائج هذا البحث على عينة كريستالية واحدة هي السيليكون وإلى الآن السيليكون هو الأهم في هذا المجال.

المراجع:

- 1- WILSON,R.G. *Rangers and Depth Distribution of 200 keV He Ions Channeled in Si,Ge and GaAs Crystals*. J Appl Phys ,61(7) ,1987, 134-139.
- 2- MOZURNDER,A; HATANO,Y . *Charged Particle and Photon Interactions with Matter* . Marcel Dekker, USA, 2004,412.
- 3- TAVERNIER,S. *Experimental Techniques in Nuclear and Particle Physics*.1st,Springer-Verlag ,Berlin Heidelberg ,2010,44.
- 4- KUCHEYEVA,S,O; Williamsa,J.S; Pearton,S.J. *Ion implantation into GaN. Materials* .Science and Engineering, 33, 2001, 51-107.
- 5- YSSEL,H.R;RUGE,I. *Ionen Implantation* , Akademische Verlagsgesellschaft , Leipzig , 1978 ,10.
- 6 - عباس، مفيد ; الأعرج، بدر. دراسة شبه تجريبية لمدى توزع أيونات *B,Al,P,As* المزروعة في السيليكون /المورفي ، مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية ، سلسلة العلوم الأساسية، المجلد (31)، العدد (2) ، 2009، 46-35،
- 7- COPELAND, J.A. *IEEE Trans. Electron Devices* ED-17, 1970, 404.
- 8- FOYT, A.G; LINDLEY, W.T; WOLFE, C.M; DONNELLY J.P. *Solid-State Electronics*, 12 1969, 209.
- 9- CHARLES, k. *Introduction to Solid State Physics* .8th ed ,Joahn willy, USA , 2005,261.
- 10- GARTNER, K; HEHL, K; SCHLOTZHAUER, G. *Nucl Instr Meth*,B4,1984, 55.
- 11- ANOSHKINA,E;FRANCOIS,H-saint-Cry. *Secondary Ion Mass Spectrometry Characterization of Diffusion Properties of 17 Elements Implanted Into Silicon* .J. Vac. Sci. Technol. B, Vol. 19, No5, Sep Oct 2001,68-76.
- 12- PAVLOV,A.V; ZORIN,E.I : *Proc All Soviet Meeting on Ion Beam Physics*, Kiev, 1974,24.
- 13- ZIEGLER, J.F; *The Stopping and Ranges of Ions in Matter*. Pergamon Press, Elmsford, NewYork, 1980-1985, 1-6.