

# الحقل الكهربائي المتدرج الناتج عن تطعيم نظير الأنديموم $^{111}\text{In}$ في بلورة الياقوت $\text{Al}_2\text{O}_3$ ( $^{111}\text{In}$ in $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) بتابعية درجة الحرارة حسان كاملة<sup>(1)</sup>

تاريخ الإيداع 2014/11/30

قبل للنشر في 2015/02/09

## الملخص

اهتمّ الفيزيائيون خلال السنوات القليلة الماضية بطريقة (PAC) (Perturbed Angular Correlation) الترابط الاضطرابي الزاوي، وعلى هذا النحو درس غرس الإنديموم داخل بلورة الياقوت باستخدام طريقة (PAC). إن طريقة (PAC) هي التفاعل بين العزوم النووية للنويات المسبورة النشطة المغروسة والحقول الكهربائية فانقة الدقة المتشكلة في العينة. بينت نتائج الدراسة تشكل الحقل الكهربائي المتدرج (EFG) في الجوار المباشر للذرات المسبورة على الشبكة البلورية بواسطة طريقة (PAC)، وكذلك بواسطة العيوب بجوار الذرات المسبورة مثل الأماكن الشاغرة التي تتشكل بين ذرات الشبكة. بالمقابل اكتشفت سلسلة جديدة من أنصاف النواقل باستخدام طريقة PAC التي تتميز بأنها ذات قدرة كبيرة لتحمل درجات حرارة عالية وتمتلك أيضاً حاجز كمون مرتفعاً ذا ثغرة طاقة Eg عريضة.

**الكلمات المفتاحية:** الترابط الاضطرابي الزاوي، الياقوت، غرس، الحقل الكهربائي المتدرج، البنية السداسية، الذرات المسبورة، التثائيات الباعثة للضوء.

(1) أستاذ مساعد، قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة دمشق، سورية.

## The Electrical field gradient (EFG) results from implantation of $^{111}\text{In}$ Isotop in $\text{Al}_2\text{O}_3$ crystal as function of temperature

H. Kamleh<sup>(1)</sup>

Received 30/11/2014

Accepted 09/02/2015

### ABSTRACT

During past few years physicists were interested in the method of perturbed angular correlation (PAC). PAC technique has been used to add Isotope of Indium ( $^{111}\text{In}$ ) into Sapphire crystal. PAC is a method which studies the reaction of nuclear torques reaction of active implemented nucleuses sonde with the hyperfine fields that formed in the crystal. The results showed that the Electrical field gradient (EFG) determined by PAC has formed directly near sonde atoms on crystal lattice. The gradient of electric field was found due to defects near sonde atoms. These defects arise from the empty places between atoms inside the lattice. However, new series of semiconductor depending on PAC techniques were discovered. These series have big tolerant degrees for high temperatures and high quantum barriers with a wide energy gap.

**Key words:** Perturbed Angular correlation, Sapphire, Implementation, Electrical field gradient, Hexagonal, Sonde atoms, LED.

---

<sup>(1)</sup> Associate Prof., Department of Physics, Faculty of Sciences, Damascus University, Syria.

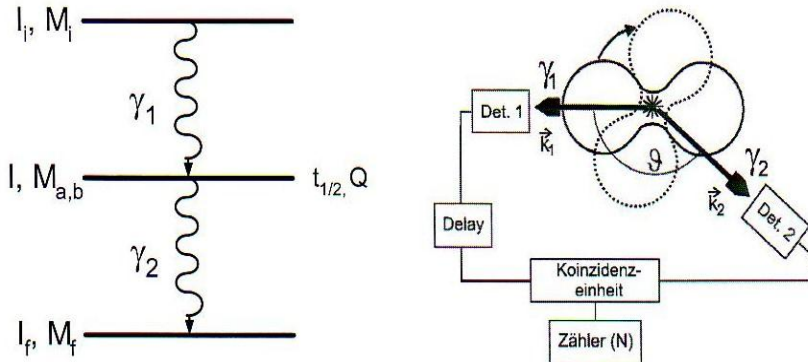
## المقدمة

تستخدم في فيزياء الجسم الصلب النووية طرائق فيزيائية نووية لكشف خواص الأجسام الصلبة. إنَّ إحدى أهم هذه الطرائق على سبيل المثال هو التجاوب المغنطيسي النووي ( $NMR$ )، كذلك تبعثر رزرفورد المرتد ( $RBC$ )، وأيضاً طريقة الترابط الزاوي المضطرب ( $PAC$ ) (Perturbed Angular Correlation). إذ نتيجة غرس الأنديموم  $^{111}In$  داخل البلورة، يحدث نشاط إشعاعي داخل البلورة، ومن ثمَّ الحصول على إشعاع  $\gamma$  - المميز .

إنَّ طريقة ( $PAC$ ) هي التفاعل بين العزوم النووية للنويات المسبورة النشطة المزروعة والحقول الكهرطسية فائقة الدقة ( $Hyperfine Fields$ ) المتشكلة في العينة. من خلال ذلك نحصل على الحقل الكهربائي المتدرج ( $EFG$ )، وكذلك على الحقل المغنطيسي الفائق الدقة في مكان السبر. يتشكل الحقل الكهربائي المتدرج ( $EFG$ ) في الجوار المباشر للذرات المسبورة (عيوب، وذرات غريبة، وتصدع في البلورة). إذ يحدث التفاعل بين عزم رباعي الأقطاب  $Q$  للنويات المسرعة مع الحقل الكهربائي المتدرج ( $EFG$ ) المتشكل في بلورة الياقوت.

تتولد الحقول المتدرجة عبر شبكة الحاجز في أحد الأنواع غير المكعبة للشبكة البلورية  $K$ ، فعلى سبيل المثال في البنية السداسية ( $hexagonal$ ) للياقوت تتولد الحقول المتدرجة عندما توجد الذرات المسبورة على شبكة الحاجز فضلاً عن ذلك تتولد الحقول بواسطة العيوب بجوار السبر مثل الأماكن الشاغرة بين ذرات الشبكة.

يؤثر التفاعل في تغيير ترابط الزوايا للأيونات المسبورة، عندها نستطيع تحديد توزع الشحنات للحقل ( $EFG$ ) في جوار السبر. لكشف خواص حقول البلورة تستخدم طريقة ( $PAC$ ) إذ لدينا التفكك الشلالي -  $\gamma\gamma$ ، (الشكل 1).



الشكل (1) يساراً التفكك الشلالي المتعاقب ويميناً الترابط الاضطرابي الزاوي أي مبدأ قياس طريقة ( $PAC$ ).

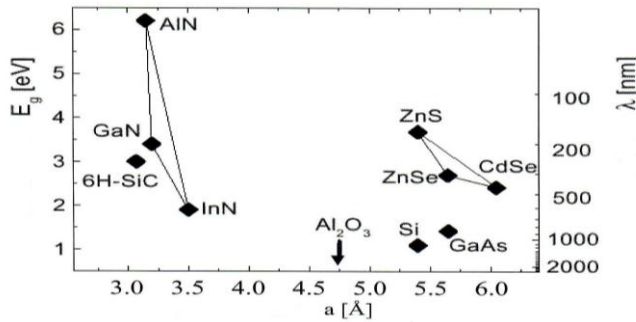
تتوضع بين السويتين العليا والسفلى للتفكك الشلالي المتعاقب السوية الوسطى (Samares Niveau). إنَّ زمن عمر التفكك لهذه السوية قصير والسبب في ذلك يعود إلى طغيان هذا التفكك. توجد الذرات المسيرة في هذه السوية بعد التفكك الكوانتي الأول  $\lambda_1$ ، إذ يأخذ اتجاه هذا التفكك الشكل الحجمي، ومن ثمَّ توزع احتمالي في الاتجاهات كلها. من جهة أخرى فإنَّ زمن عمر تفكك السوية السفلى يتحدد من خلال الحساسية المحددة للجهاز.

خلال البحوث المكثفة في الأعوام القليلة الماضية اكتُشفت سلسلة جديدة من أنصاف النواقل، التي تستخدم الآن على نطاق واسع في مجال الكترنيات درجات الحرارة العالية وبشكل خاص الالكترنيات الضوئية، والدارات التكاملية، وتقنيات الليزر، إذ إنَّ أنصاف النواقل هذه تمتلك حاجز كمون مرتفعاً وثغرة طاقة عريضة أيضاً [1]. تمتلك الثنائيات الباعثة للضوء (LED) 13% من طاقة المصباح العادي، وزمن حياتها أكبر بمئة مرة من زمن حياة المصباح العادي. إذ تتولد لدينا من الضوء الأبيض ثلاثة ألوان أساسية هي الأحمر، والأخضر والأصفر.

لاختيار البنية الصغيرة ووصفها لحامل المعلومات مثل (CDs) و (DVDs) لا بد من دراسة ليزرات أنصاف النواقل الحاملة لأطوال موجبة قصيرة في مجال الضوء الأزرق، ومن ثمَّ متابعة إمكانية إعطاء المعلومات وتقنيات المحادثة خلال الكثافة العالية للتخزين [2]. أيضاً من أجل الاتصالات عبر المياه بسبب ضعف الامتصاص لدينا حالة مثالية هي الليزر الأخضر.

انطلاقاً من الفصيلة الثالثة التريديية، بسبب كون عناصر هذه الفصيلة تمتلك ثغرة طاقة مباشرة، فمثلاً لدينا ثغرة الطاقة لـ: GaN (نتريد الغاليوم) تتغير عند دخول شائبة من الألمنيوم Al أو الأنديم In.

إذ إنَّ ثغرة الطاقة Eg لنتريد الأنديم (InN) هي  $E_g, \text{InN} = 1,9 \text{ eV}$ ، وكذلك لنتريد الغاليوم (GaN) هي  $E_g, \text{GaN} = 3,4 \text{ eV}$ ، إلى أن نصل ثغرة الطاقة من أجل نتريد الألمنيوم الحر (AlN) إلى  $E_g, \text{AlN} = 6,2 \text{ eV}$  ومن ثمَّ يظهر بشكل واضح أهمية تصنيع LED's و LD's بأطوال موجبة بين الأخضر والبنفسجي (الشكل 2).



الشكل (2) ثغرة الطاقة  $E_g$  لأنصاف نواقل مختلفة بتابعة ثابتة الشبكة البلورية  $a$  والطول الموجي.

يوضح الشكل (2) فاصل الطاقة لعدد من أنصاف النواقل بتابعة ثابتة الشبكة البلورية a. إنَّ التبريدات هي عناصر مهمة للاستخدام في مجال درجات الحرارة العالية والاستطاعات الكبيرة. من حيث المبدأ تكون أنصاف النواقل محصورة في مجال معين من درجات الحرارة، ففي درجات الحرارة العالية يتحول نصف الناقل إلى ناقل، ومن ثمَّ فإنه يخسر خواصه النصف ناقلة. تتمتع التبريدات وبشكل خاص GaN بدرجة انصهار أعلى من  $1700^{\circ}\text{C}$  وناقلية حرارية عالية أيضاً. ومن ثمَّ إمكانية اختراق قوة حقلية كبيرة وعلى هذا النحو فهي مثالية في مجال الاستخدام المستقبلي [3].

تصنع رقائق من GaN من بضعة سنتيمترات مربعة وتوضع على ركازة، ومن ثمَّ من خلال تناسب الشبكة البلورية بين الركازة والرقائق لـ GaN نحصل على نتيجة مهمة للتنمية ومن ثمَّ يعود ذلك بالفائدة على الخواص الكهربائية والالكترونية والضوئية للشرائح. بسبب كون أكسيد الألمنيوم  $\text{Al}_2\text{O}_3$  لديه مقاومة عالية فقد استعمل كعنصر ركازة. يبين الجدول (1) أهم الخواص الفيزيائية للياقوت  $\text{Al}_2\text{O}_3$  التي تبرر الاستخدام السابق له كركازة

الجدول (1) بعض الخواص الفيزيائية لأكسيد الألمنيوم  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (الياقوت).

المادة المستخدمة	$\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Saphir}$
النقاوة %	99,9999
ثابتة الشبكة البلورية a (Å)	4,75
ثابتة الشبكة البلورية c (Å)	12,99
الكثافة ( $\text{g/cm}^3$ )	3,98
فاصل الطاقة (ev)	10
درجة الانصهار (K)	2423,15
الناقلية الحرارية $\lambda$ (W/mK)	36(RT)
تمدد حراري ( $10^{-6}\text{K}^{-1}$ )	5,4-6,2
درجة الليونة (K)	2073,15

#### طريقة العمل

السويات الشائبة الناتجة عن دخول ذرات غريبة إلى أنصاف النواقل مثل:  $\text{Ga}$ ,  $\text{InP}$ ,  $\text{Si}$ ,  $\text{Ge}$ ,  $\text{As}$ .. إلخ. وبسبب الحاجة إلى النشاط الإشعاعي السبيني للذرات ويسمى الذرات المسبورة (Sendenaton)، إذ إنَّ العدد لأعظمي المألوف لهذه الذرات هو من مرتبة  $10^{12}/\text{cm}^3$  في الأجسام الصلبة المختلفة. [4] قمنا بالطريقة المقدمة سابقاً.

بنيت محطة القياس على أساس أنه في الوقت نفسه يمكن استخدام الطرائق الثلاث الأنفة الذكر (انظر المقدمة) بحيث يحدث غراسة الأندسيوم في بلورة الياقوت (Implantation) من خلال الصدم المرند أو بطرائق كيميائية أخرى.

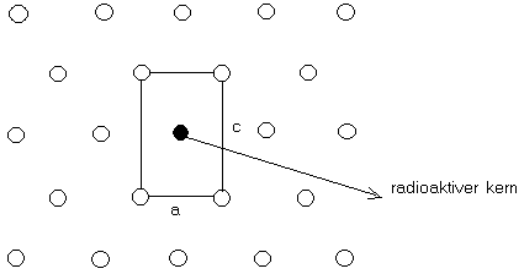
تُستخدم عينات مثل  $^{131}\text{Hf}$ ،  $^{111}\text{In}$  وكذلك  $^{77}\text{Br}$  في طريقة (PAC) الترابط الاضطرابي الزاوي، وقد استخدمنا هذه النظائر مباشرة في المسرع الموجود في بون (Bonn) للحصول

على الغراسه بالصدم المرتد، وذلك بهدف غراسه الذرات وإدخالها إلى الجسم الصلب لتحجز الأماكن الشاغرة في البلورة. في مرحلة لاحقة تسخن العينة إلى درجة 1200 م، مما يسهم في أن البنية البلورية المخربة تعود إلى وضعها الطبيعي السابق، وهذه العملية هي عملية التلدين (Annealing). تأخذ الذرات المسرعة مكانها على حاجز الشبكة البلورية للعينة، إذ تولد حاملات الشحنة الإضافية في جوار هذه الذرات المسببة حقلاً كهربائياً متدرجاً (EFG).

إنّ نظير الأنديموم  $^{111}\text{In}$  هو الأكثر استخداماً في المسبار-PAC. إذ إنّ النظير  $^{111}\text{In}$  يتفكك من خلال الاضمحلال الإلكتروني (Electroneneinfang) إلى نظير الكادميوم  $^{111}\text{Cd}$ . كذلك يستطيع نظير  $^{181}\text{Hf}$  بكل سهولة التفكك خلال الاضمحلال النيتروني (Neutroneneinfang) وتوليد  $^{180}\text{Hf}$ .

تتخرب البنية التناظرية (Symmetrie) بجوار الذرات الغريبة، و تكون النتيجة أنّ الحقل الكهربائي المتدرج (E F G) في هذا الموقع غير معدوم، عندها يمكننا حساب الاضطراب الناتج عن تخريب الذرات المسببة (Sonden atom).

من جهة ثانية تجب معرفة التفكك لهذه الذرات المسبوبة، ومعرفة عزم رباعي الاستقطاب  $Q$  (Quadrupolmoment)، وأخيراً الزمن النصفي  $0.5t$  اللازم للتوقف في هذه السوية (Samares Niveau). عندما تصدم النوى المسببة الشبكة البلورية لعناصر لا تمتلك البنية المكعبة يتولد الحقل الكهربائي المتدرج (EFG)، يكون تأثير هذا الحقل في موقع النوى المسببة غير فعّال. أمّا بوجود عيوب بجوار الذرات الغريبة تتخرب البنية التناظرية (Symmetrie) بجوار الذرات الغريبة، وتكون النتيجة الحصول على حقل كهربائي متدرج (EFG) لا يساوي الصفر عندها نستطيع تحديد توزع الشحنات للحقل في جوار السبر (Sonde)، فضلاً عن ذلك تستطيع الحقل كشف العيوب بجوار السبر مثل الأماكن الشاغرة بين ذرات الشبكة. فعلى سبيل المثال يتفكك النظير  $^{111}\text{In}$  باستخدام طريقة (PAC) إلى النظير  $^{111}\text{Cd}$ ، (الشكل 3).



الشكل (3) الجوار غير مكعب البنية لإحدى النوى النشيطة في البنية السداسية المركزية للشبكة البلورية (hexagonalen).

لدينا على سبيل المثال عنصر الكاديوم Cd ( $a = b \neq c$ ). يمتلك الكاديوم Cd بنية بلورية سداسية مركزية (hexagonal)، ومن ثم يتولد حقل كهربائي متدرج متناظر في الاتجاهات كلها، إذ إن الوسيط اللاتناظري (Asymmetrieparameter) ( $\eta = 0$ ). من أجل عينة متعددة البلورات (polycrystalline) يتوزع الحقل الكهربائي في الاتجاهات كلها، إذ يتساوى السبر بعد تفكك الأنديموم  $^{111}\text{In}$  إلى  $^{111}\text{Cd}$ ، خلال زمن قدره  $10^{-13}\text{s}$  تقريباً. [5]

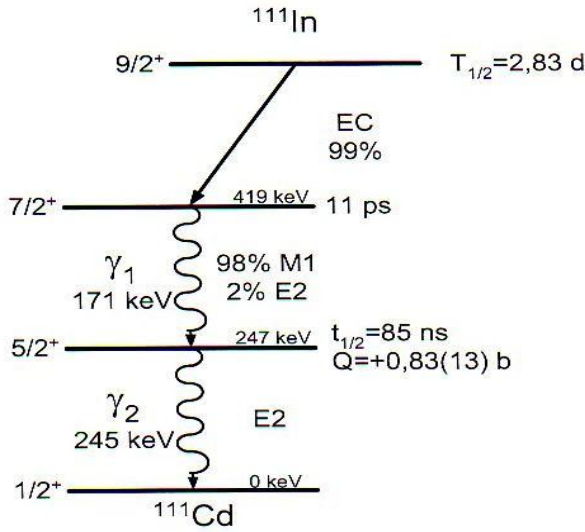
### خواص العينة المدروسة

صنعت عينة الياقوت المستخدمة في القياس من قبل مؤسسة (Firma)  $\text{eSCeTe}^1$ . لدينا معيار قياسي من  $\text{Al}_2\text{O}_3$  محدد الاتجاه (0 0 0 1) وبأبعاد من مرتبة  $2 \times 430 \mu\text{m}$ ، ونقاوته تساوي 99.999% وثابتة شبكيته البلورية هي  $a = 4.75 \text{ \AA}$  و  $C = 12.99 \text{ \AA}$

### الزراعة (Implatation)

توجد آليتان ميكانيكيتان لدى صدم الأجسام الصلبة بالأيونات، وهما التوقف أو التخریب: في الحالة الأولى يكون التصادم مرناً مع النويات، أما في الحالة الثانية فلدينا تفاعل مع الإلكترونات، حيث أرجحية هذين التأثيرين متعلقة بطاقة ذرة الهدف وكتلتها. عندما تكون الأيونات حاملة لطاقة حركية كبيرة، وتتمتع بعدد شحنة نووية  $z$  صغير يكون الغالب هو التفاعل الإلكتروني، وتدعى هذه الظاهرة بالتوقف الإلكتروني (electronic stopping). أما عندما تمتلك الأيونات طاقة حركية صغيرة وعدد شحنة نووي  $z$  كبيراً، يؤثر هذا التوزع في الخلل الذي لحق بالشبكة، إذ إن الطاقة المنقولة لذرات البلورة أكبر من طاقتها المنتشرة، عندها تخسر ذرات البلورة مواقعها على الشبكة وتستطيع الانتشار إلى مواقع أخرى [6]. كذلك تستطيع الأيونات بمتابعتها الحركة تنفيذ الاصطدامات مجدداً، حتى يحصل هدوء، عندما يخسر الأيون مساره بوجود العيوب، تتعلق مقاطع الزراعة أيضاً بطاقة الانتشار لذرات البلورة. تطابق طاقة الانتشار لذرات الشبكة البلورية قرابة عدة مرات طاقة الارتباط، وهي تساوي في أنصاف النواقل النموذجية من (10 – 30eV) [7]. هذا يعني وجود أماكن شاغرة تسمى عيوب فرانكل (Frenkel – Defekte) وكذلك عيوب الشبكة المركبة، وبشكل خاص في الجوار المباشر لزراعة الأيونات، وهنا تكون السيطرة عند الطاقات المنخفضة كما وصفناها سابقاً لظاهرة التوقف النووي (Nuclear Stopping) [8].

في الشكل (4) لدينا غراسة النظير  $^{111}\text{In}$  النشاط إشعاعياً.



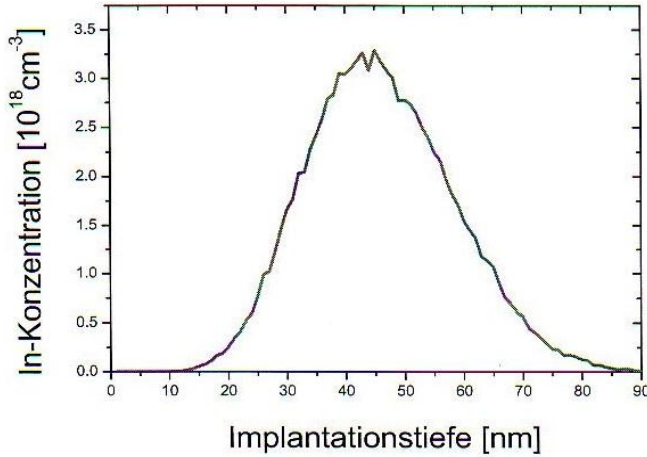
الشكل (4) تفكك نظير  $^{111}\text{In}$  إلى نظير  $^{111}\text{Cd}$  بطريقة PAC .

ينتج الانقسام لنظير الأنديموم الأم  $^{111}\text{In}$  من خلال الأسر الإلكتروني (أسر الإلكترون  $E_c = \text{Electron Capture}$ ) ويزمن عمر نصفي  $0.5t$  يساوي 2.83 يوماً. استخدمنا في قياسات PAC المجال من 171Kev - 245Kev للتفكك الشلالي - كاسكاد (kaskade -  $\Delta\Delta$ ) الذي من خلاله يتفكك النظير  $^{111}\text{In}$  تقريباً مئة بالمئة في الحالات كلها. ومن الضروري لمراقبة دقة السبين النووي ل  $^{111}\text{In}$  معرفة الإصدار اللامتناظر ل  $\Delta$  - كوانتم. عند الدراسة الموجهة للسبين النووي لإحدى النويات في إحدى الحالات المثارة يكون التوزيع الزاوي للطيف الكهربيسي خلال المعبر في السويات المنخفضة متناظراً [9]. نحصل فقط على توزيع زاوي لا متناظر، عندما تكون الحالة ناتجة عن الإصدار مستقطبة. هذا يوافق أن تكون السوية السفلية M محجوزة بشكل غير متساوٍ. بمراقبة  $\Delta$  و  $\Delta_2$  يمكن إثبات بشكل قاطع أن  $\Delta$  تحدد النوى المسبورة جميعها أمّا  $\Delta_2$  فتوضح الحجم اللامتناظر [10].

لدينا عند الغراسة وجوار النظير  $^{111}\text{In}$  النظير  $^{111}\text{Cd}$ ، انقسام الأنديموم على قاعدة تماثل العدد الكتلي ينتج الأيونات  $^{111}\text{In}^+$  والأيونات  $^{111}\text{Cd}^+$ ، وهنا نحصل على قيمة عالية لجرعة غراسية، لذرات الأنديموم  $^{111}\text{In}$ . من جهة نجد هنا العينة مع الكاديوم Cd، ومن جهة أخرى جرعة الغراسة المسموحة. يوضح الشكل (5) مثلاً لأحد منحنيات الزراعة باستخدام برنامج



SRTN 2000 من أجل زراعة  $^{111}\text{In}$  في بلورة الياقوت  $\text{Al}_2\text{O}_3$  عند الطاقة 160Kev وجرعة من مرتبة  $1.10^{13}\text{at}/\text{cm}^2$ .



الشكل (5) توزيع التراكيز لـ  $^{111}\text{In}$  المزروعة في الياقوت  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ، إذ إنَّ طاقة الغرسة هي 160Kev، والجرعة هي  $1.10^{13}\text{at} / \text{cm}^3$ .

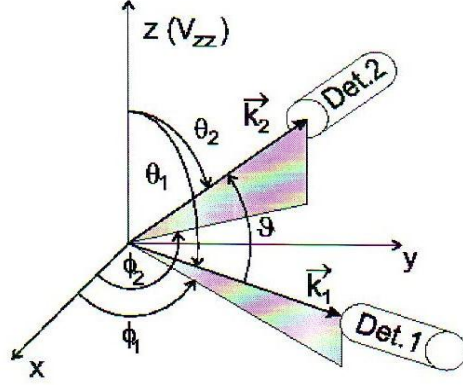
باستخدام التقنية السابقة حصلنا على نتيجة عمق دخول وسطي للأيونات من مرتبة 45.5nm وكانت المسافة النصفية للنقطة العظمى لعملية الغرسة مساوية 12.3nm. من أجل جرعة غراسية من مرتبة  $10^{13}/\text{cm}^2$  تصبح التراكيز الحجمية العظمى عند القيمة 45.5 nm، وهي تساوي تقريباً  $3.3 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ .

#### الاستخدامات

تستخدم عناصر الفصيلة الثالثة النتريدية كثيراً في تقنيات العناصر الالكترونية وأنصاف النواقل، إذ تتمتع بفاصل طاقي (ثغرة طاقة) مباشر كبير. بوجود إمكانية دخول الألمنيوم AL أو الأندسيوم In، فإنَّ فاصل الطاقة هذا يتغير. إنَّ النتريد يجعل العنصر مثالياً في مجال الإلكترونيات الضوئية، إذ إنَّه يجعل استطاعته كبيرة، ودرجة حرارته مرتفعة أيضاً كما هو الحال بالنسبة إلى الثنائي الباعث للضوء الليزري LEDs في مجال الضوء الأزرق. وكذلك كواشف ومولدات الأشعة فوق البنفسجية التي تتطلب خرجاً ضوئياً. ومن أجل الوصلات اللامتجانسة (Hetero epitaxie) من نتريد الغاليوم Ga N يلزمنا ركازة تتناسب وشبكته البلورية، ومن ثمَّ ثابتة الشبكة البلورية a من مرتبة  $3,17\text{Å}$ . استخدمنا كربون السيليسيوم (Sic) أو أكسيد الألمنيوم  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (الياقوت) كركازة.

### النتائج والمناقشة

عند إجراء القياس لبلورة وحيدة، يؤثر اتجاه الحقل المترج ومن ثمّ نظام الكواشف في القيم المقیسة، ومن أجل القیاسات على الياقوت يكون اتجاه الحقل المترج باتجاه المحور  $Z(V_{zz})$  (الشكل 6).



الشكل (6) يصف النظام الإحداثي العام للترابط الزاوي -  $\mathbf{z}$  و  $\mathbf{z}$  وتوضح اتجاه الإصدار  $\mathbf{k}_2$   $\mathbf{k}_1$

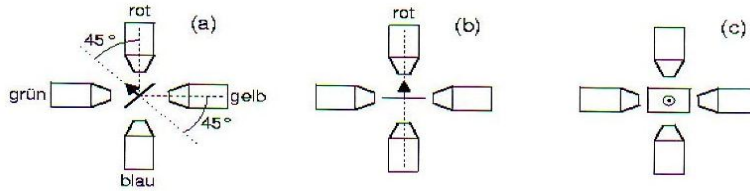
لكل من  $\mathbf{z}$  و  $\mathbf{z}$ . اختيرت المحاور بحيث يكون:  $|v_{zz}| \geq |v_{yy}| \geq |v_{xx}|$  عندها تكفي مركبتان  $v_{zz}$  و الوسيط الانتاظري  $\eta$  لوصف الحقل الكهربائي المترج.

يقدم الشكل (7) إمكانية التفاعل مع نظام الكواشف لثلاثة اتجاهات للقياس وهو يفسر كما يأتي:

(a) - هندسة راغها فان.

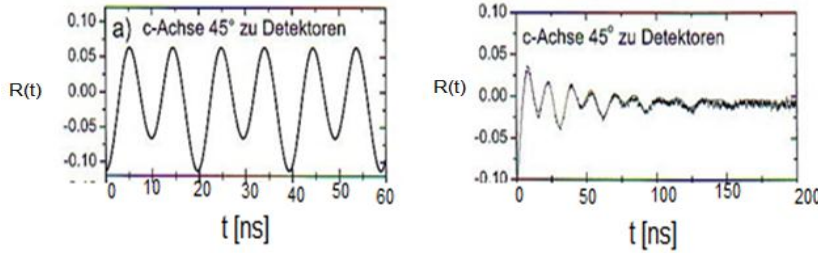
(b) - مواز لمستوي الكاشف.

(c) - خط عمودي بالنسبة إلى مستوي الكاشف.



الشكل (7) الإمكانيات المختلفة لاتجاهات الحقل المترج  $V_{zz}(\uparrow)$  نسبياً إلى نظام الكواشف.

أجريت في بحثنا هذا أغلب القياسات في الحالة a، حيث يصنع اتجاه الحقل المتدرج زاوية  $45^\circ$  مع مستوي الكاشف. تأتي أهمية هندسة راغها فان في أن التواتر w يبرز بوضوح في الطيف، بحيث يمكن مشاهدة الدورية المضاعفة للطيف (الشكل 8-a).



الشكل (8) إلى اليسار طيف PAC من أجل اتجاهات مختلفة للحقل المتدرج  $V_{zz}(\uparrow)$  نسبياً إلى نظلم الكواشف قارن بالشكل (7). إلى اليمين القياسات الموجهة للترابط الاضطرابي الزاوي (PAC) وذلك بعد غرسة نظير الأنديوم  $^{111}\text{In}$  مباشرة في الياقوت.

### الخلاصة

يعالج هذا العمل تابعة درجة الحرارة للتفاعلات فائقة الدقة للنشاط الإشعاعي للذرات المسبورة  $^{111}\text{In}$  في الياقوت الحر، إذ نتج لدينا تصورات عن القياسات بطريقة (PAC)، وسجل في كل مجال من درجة حرارة طيف ال PAC. نستطيع من خلال هذه المعرفة إعطاء تصور عن تغير الجوار للذرات المسبورة عند درجات حرارة مختلفة.

ففي الدرجات المرتفعة هناك هبوط قدره 10% للنصيب التعويضي، في الوقت نفسه ينخفض هذا الجزء إلى 5% عند الدرجة  $1000^\circ\text{C}$ .

لذلك لدينا زمن الاسترخاء، وهذا يعني الزمن الذي يحتاج إليه ال Cd المسبر للخروج من الطبقة، ومن ثم بلوغ حالته الأساسية الحيادية.

يتولد هنا الحقل الكهربائي المتدرج (EFG) المتعلق بذلك، وينشأ عن ذلك حركية الإلكترونات في المادة.

## References

- 1- Schatz, G. weidinger Studie-buecher) Teubner, A. 1992. Nukleare Festkoerperphysik, Teubner Stuttgart.
- 2- Nakamura, S. Fasol, G. 1997. The Blue Laser Diode, Springer Berliner Heidelberg New York.
- 3- Seifert, O. 2001. Persistente Photoleitfaehigkeit in duenen GaN Bonn Universitaet.
- 4- Gerdau, E. Winkele, J. Braunsfurth, J. 1969. Proc. Roy.Soc. A, 311:197-200.
- 5- Ruske, F. 2002. Indiumimplantation in GaN Universitaet Boon.
- 6- Feuser, U. 1990. Untersuchung elektrischer Feldgradienten im Germanium Boon.
- 7- Koch, H. 1992. Defekt-Fremdatom Wechselwirkungen in den hexagonalen Metallen.Universitaet Boon.
- 8- Lorenz, I K. 2002. mplantationsstudien an Gruppe-3-Nitride; Universitaet Boon.
- 9- Barradas, N.P. 1992. NNFTT the PAC MANual; Lissabon.
- 10- Hofman, D.M. 1999. Werkstoffe fuer blaue Leuchtdioden und Laser; Physik in unserer Zeit , 30(2):69.