

تصنيع كاشف السليكون المطعم بالأنديموم بطريقة التشعيع بالليزر

ياسين حميد محمود¹ ، رحمان إسماعيل مهدي¹ ، نبيل جنان بهنام¹ ، محمد شياع مرعي²

¹ قسم علوم الفيزياء ، كلية العلوم ، جامعة تكريت ، تكريت ، العراق

² قسم علوم الفيزياء ، كلية العلوم للبنات ، جامعة بغداد ، بغداد ، العراق

(تاريخ الاستلام: ١٩ / ١١ / ٢٠٠٨ ، تاريخ القبول: ٢٥ / ٥ / ٢٠٠٩)

الملخص

في هذا البحث تم تصنيع كاشف السليكون المطعم بالأنديموم باستخدام بلورة مفردة (single crystal). من النوع السالب (n-type) وذات اتجاهية (111) باستخدام طريقة الانتشار للشوائب باستخدام الليزر وقد كان الكاشف المصنع له خصائص الثنائي (diode) وكانت وصلة الثنائي من النوع الحاد وله استجابة طيفية تقدر بحوالي (0.4 A/W) عند الطول الموجي (0.85μm) وكانت سرعته بحدود (80 ns).

المقدمة

كان بلوريا (Crystalline phase) او عشوائيا (Amorphous phase). ان عملية التسخين الناتجة باستخدام شعاع الليزر تعتمد على طول الانتشار الحراري (L) ، والانعكاسية (R) وعمق الامتصاص (α) وعندما يكون عمق الامتصاص اقل بكثير من طول الانتشار الحراري فان الارتفاع بدرجة الحرارة يكون عند السطح (Z = 0) ويعطى تغير درجة حرارة السطح نتيجة التشعيع بالليزر بالعلاقة [2] الآتية :-

$$\Delta T(0, \tau_p) = \frac{2I_0(1-R)}{K} \left[\frac{H \tau_p}{\pi} \right]^{1/2} \dots\dots(3)$$

أي ان كثافة الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة السطح الى نقطة الانصهار تتناسب مع الجذر التربيعي لزمن نبضة الليزر ولا تعتمد على معامل الامتصاص ويمكن التعبير عن درجة حرارة السطح [2] بالعلاقة: -

$$\Delta T(Z, \tau_p) = \frac{1(1-R) \tau_p \alpha \exp(-\alpha Z)}{\rho C_p} \dots\dots\dots(4)$$

كما تعرف الأشابة على انها ادخال تركيز محدد من ذرات المادة الشائبة الى المادة شبه الموصلة و ذلك لتغيير الخصائص الكهربائية للمادة وتقسّم طرق الأشابة الى :-

١- الأشابة بالانتشار الحراري:- وهي من الطرق التقليدية التي استخدمت في عمليات الانتشار للشوائب. وفيها يتم ترسيب طبقة من مادة الأشابة على المادة شبه الموصلة ومن ثم توضع داخل الفرن الحراري المفرغ من الهواء.

٢- الأشابة بالغرس الايوني:- وهي من الطرق المتقدمة والمهمة حيث توضع المادة شبه الموصلة في جو مفرغ وعلى مسافة يوضع مصدر لأيونات الذرات الثنائية يسلط فرق جهد كهربائي لتعجيل الأيونات والتي عند اصطدامها بالمادة شبه الموصلة تنفذ الى داخله.

٣- الأشابة بالليزر:- تقسم الأشابة بالليزر طبقا لحالة الشوائب المراد ادخالها الى المادة شبه الموصلة الى اشابة بالطور الصلب و السائل و الغازي ولكن ميكانيكية انتشار الشوائب هي نفسها إذ تتلخص عملية الأشابة من الطور السائل بصهر المادة المراد اشابتها الى عمق محدد و تعمل الشوائب الموجودة على

تعرف الكواشف (detectors) على انها قطعة من مادة شبه موصلة تعمل على تحويل الأشارة الضوئية الساقطة عليها الى اشارة كهربائية ممكن الاستفادة منها . تستخدم هذه النبائط في معظم الاجهزة الكهروإحصائية كمرحل ابتدائية لاستلام الاشعة الضوئية التي تسقط عليها لذا فان تطور هذه المتحسسات مع ما تم التوصل اليه من تطور في اجهزة الليزر كان الاساس في تطوير اجهزة الاتصالات الكهروضوئية وما احدثته من ثورة في عالم الاتصالات. لذا اصبح من المهم معرفة هذه النبائط والتعرف على طرق تصنيعها . وكيفية استخدامها لمواكبة التطور في هذا المجال. وتختلف هذه الكواشف من حيث طريقة تصنيعها واستخدامها منها .

أ- الكواشف الحرارية :- ومن اهم انواعها الترموكبل، الترموبايل و البولوميتير

ب- الكواشف الفوتونية:- و تقسم الى عدة انواع منها:-
١- كواشف التوصيل الضوئي (photoconductive) وتقسّم الى ذاتية ،ومشابة

٢- كواشف الفولتائية الضوئية (photovoltaic) وهي انواع عديدة :- مثل: شونكي، ثنائي الوصلة ،الانهياري،المفرق الهجين، ان لخصائص المادة دورا كبيرا في التأثير في ميكانيكية تفاعل شعاع الليزر مع المادة ولعل معامل الانتشارية الحرارية (thermal diffusivity) وطبيعية السطح اهم هذه الخصائص. يعتمد التسخين او الانصهار للمواد باشعة الليزر على معدل التغير في درجات الحرارة ، وهذا التغير يعتمد على معدل الجريان الحراري في المواد الذي بدوره يكون دالة للتوصيلية الحرارية (Thermal conductivity) (K) والحرارة النوعية (Specific heat) (Cp) وكثافة المادة (ρ) [1]. تعطى الانتشارية الحرارية (H) بالعلاقة الآتية:

$$H = \frac{K}{\rho C_p} \dots\dots\dots(1)$$

يمكن حساب طول الانتشار الحراري (Thermal diffusion length) (L) (المسافة التي ينتشر بها الحرارة الناتجة عن الليزر) بدلالة امد نبضة الليزر (t) والانتشارية الحرارية من العلاقة الآتية.

$$L = (2H \tau_p)^{1/2} \dots\dots\dots(2)$$

ان الانتشارية الحرارية (H) والتوصيل الحرارية (K) والحرارة النوعية (Cp) والكثافة (ρ) دوال لحالة المادة وكل منها يتغير تبعا لطور المادة ان

التوصيلية الحرارية والسعة الحرارية والانتشارية الحرارية ومعامل الامتصاص للمادة.

الجانب العملي :-

يتضمن الجانب العملي :-

١- تحضير العينات:-

يتم تحضير العينات من شرائح السليكون الاحادية البلورة (single crystal) من النوع المانح (n-type) ولها اتجاهية بلورية (١١١) ويسمك (500µm) ومقاومتها (5Ω/□) حيث تغسل الشرائح بالماء المقطر ثم تنظف بواسطة الكحول باستخدام جهاز الامواج فوق الصوتية لمدة (15 sec) ثم تجفف العينات ،ولازالة طبقة الاوكسيد توضع العينات في محلول (Cp-4) المكون من حامض النتريك،وحامض الهايدروفلوريك،وحامض الخليك وبالنسب (٣:٥:٣) وذلك للتخلص من تلك الطبقة بعد ذلك تغسل العينات للتخلص من الحوامض المتبقية.

٢- منظومة الطلاء :-

يتم ترسيب اغشية رقيقة من مادة الأندنيوم (In) بسمك (100nm) بنقاوة (٩٩،٩٩%) على شرائح السليكون ويسمك (500µm) باستخدام منظومة الطلاء (Palazer) وتحت ضغط (10⁻⁵ Torr).

٣- منظومة الليزر:-

تم استخدام ليزر النيديميوم- ياك (Nd-YAG) ذو طول موجي (1.06µm) وامتد نبضة (300µs) وطاقة نبضة تصل الى (10 J) .

٤- عملية التشعيع بالليزر :-

بعد ترسيب اغشية الأندنيوم على شرائح السليكون ولإجراء عملية الأشابة تم استخدام ليزر النيديميوم - ياك لتشعيع العينات ولتركيز شعاع الليزر تم استخدام عدسة محدبة ذات بعد بؤري (٣٠cm) كما وضعت العينة على مسافة (٢٠cm) من العدسة كما وضعت مرآة بزواوية (٤٥°) درجة تم استخدام عدة ضريات ليزيرية متداخلة لتغطية مساحة العينة، والمخطط (١) يمثل مخطط لعملية الأشابة بالليزر.

الانتشار خلال المنصهر أي يحدث الانتشار بالطور السائل . يتحدد عمق الانتشار (للسوائب) بعدة معلمات منها ما يخص شعاع الليزر مثل الطول الموجي و امتد النبضة وكثافة الطاقة ومنها ما يخص السوائب نفسها . تتم عملية الأشابة بالطور الصلب عن طريق ترسيب السوائب وانتشارها الى الداخل ومن ثم التصلب ، وتسمى هذه الطريقة طريقة التشويب بواسطة الليزر Laser induced melting of predeposit (impurity doping)

العوامل المؤثرة في عملية الأشابة بالليزر:-

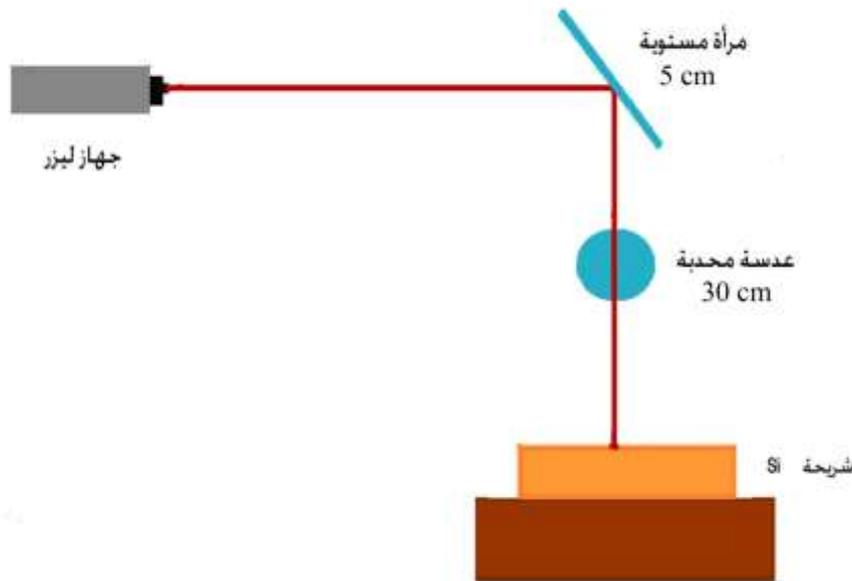
١- سرعة إعادة التصلب : عند سقوط شعاع لليزر على مادة شبه موصلة فان جزء من الشعاع سوف يتم امتصاصه ليصهر المادة ويكون اتجاه الصهر من السطح نحو الداخل .كما يتحدد عمق الانصهار بخصائص الليزر والمادة وبعد انتهاء التشعيع تبدأ المادة بالتصلب ويكون اتجاه التصلب من الداخل الى الخارج وبسرعة تعتمد على خصائص الليزر والمادة [3] .

٢- هيئة توزيع السوائب: يعد هذا المعلم مهم لأنه الذي يعول عليه في تحديد اجهزة اشباه الموصلات وتطبيقاتها. عند تشعيع المادة فانها تمتص الضوء وترتفع درجة حرارتها وتتصهر وتبدأ السوائب بالانتشار بالطور السائل اكبر من الطور الصلب. ان تركيز السوائب المنتشرة (C_i) كدالة (Z) والزمن (t) يمكن حسابه بالمعادلة (٥) [4].

$$C_i(Z,t) = \frac{N_0}{\sqrt{\pi D_L t}} \exp(-Z^2/4D_L t) \dots\dots\dots (5)$$

حيث ان (N₀) هي تركيز السوائب الابتدائية عند السطح (Cm⁻²) و(D_L) يمثل معامل الانتشار للطور السائل و(t) زمن الانصهار .

٣- درجة حرارة القاعدة: تؤثر درجة حرارة القاعدة بشكل كبير في سرعة إعادة التصلب وهيئة توزيع السوائب لان تغير درجة حرارة القاعدة يؤثر في

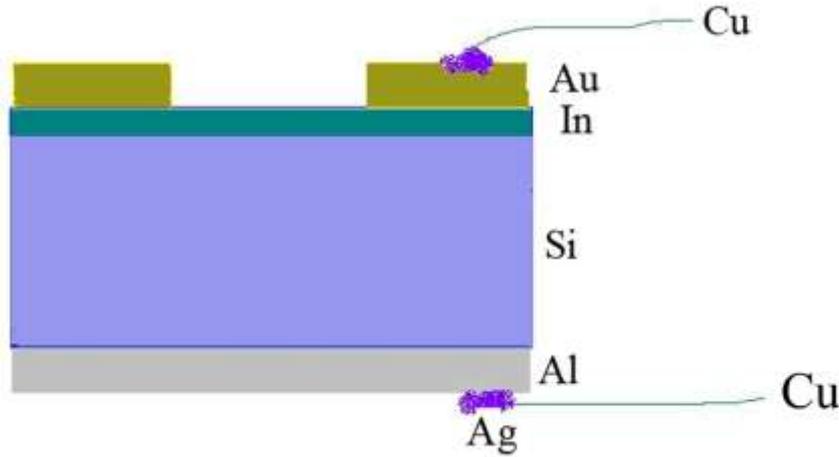


مخطط (١): يوضح عملية الأشابة بالليزر

٥- الاتصال الاومي:-

والالمنيوم على الجزء المانح (n-type) وينفس السمك . تم استخدام منظومة (Palazer) السابقة،في عملية الطلاء. والمخطط (٢) يوضح طبقات الكاشف المصنع.

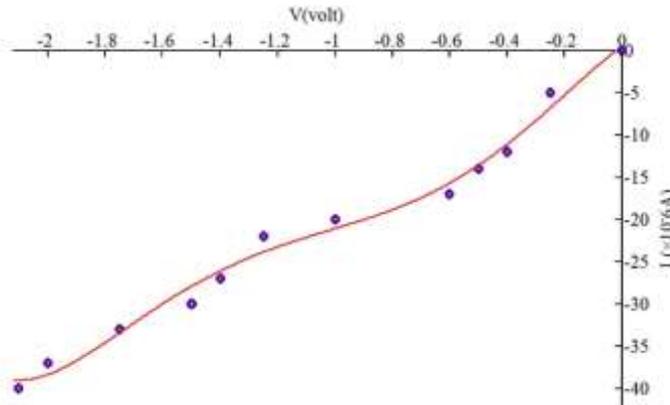
عرف الاتصال الاومي على انه اتصال معدن - شبه موصل على ان لا يضيف أي مقاومة الى شبه الموصل حيث يرسب غشاء من الذهب بسمك (1µm) على الوجه المشاب والذي هو من النوع القابل (p-type).



مخطط (٢): يوضح طبقات الكاشف المصنع

النتائج والمناقشة

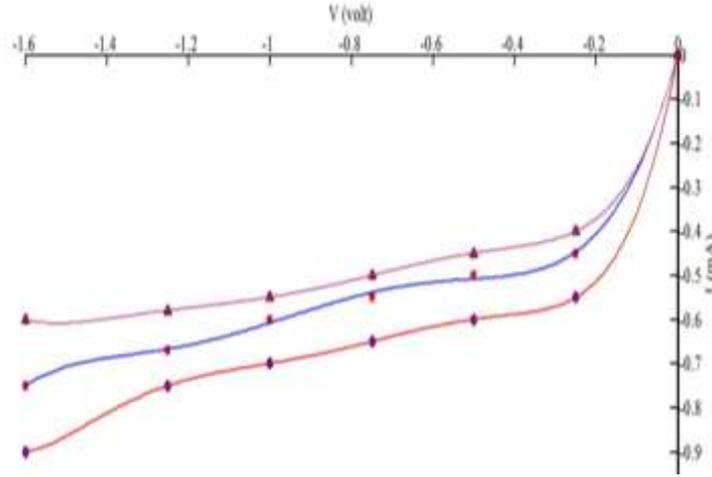
يوضح الشكل (١) خصائص التيار - الجهد في حالة الظلام تحت جهد انحياز عكسي للكاشف المصنع



شكل (١): يمثل خصائص التيار - الجهد في حالة الضلام

في مقدار التيار للتثائي المصنع بشكل حاد مع جهد الانحياز العكسي عند قيمة جهد (2 V) كما ان التيار لا يعتمد على جهد الانحياز العكسي وهذا التيار يسمى تيار الانتشار. كما يوضح الشكل (٢) خصائص التيار - الجهد.

حيث نلاحظ ان التيار يزداد بزيادة الجهد وهذا ناتج عن زيادة فصل مزدوجات الكترولون- فجوة المتولدة بسبب التهيج الحراري (Thermal agitation) في هذه المنطقة من المنحني يكون تيار الانتشار هو المتغلب. ان مركز اعادة الاتحاد وحالات السطح هذه تعمل على زيادة كبيرة



شكل (٢): خصائص التيار - الجهد في حالة الأضاءة لمستويات مختلفة من الشدة

نحو الطبقة اللاحقة وهكذا تستمر العملية وصولاً إلى الطبقة السطحية وهي آخر طبقة متصلبة [5]، ان توزيع الشوائب ضمن المنطقة المتصلبة يعتمد على معامل التوزيع السطحي [6]، ان اهم العيوب التركيبية المتولدة جراء التشعيع بالليزر هي الانخلاعات ومراكز اعادة الاتحاد والتموجات وحالات السطح [7] بشكل عام فان التيار الضوئي المتولد في ثنائي الوصلة جراء تعريضه للضوء هو:

$$I_{ph} = qAG_{ph}(W + L_n + L_p) \cdot \dots (٧)$$

حيث ان :-

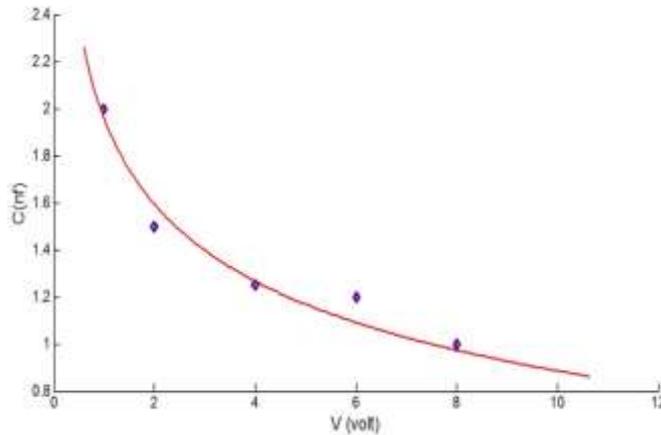
- G_{ph} معدل التولد الضوئي
- W عرض منطقة النضوب
- L_n طول انتشار الالكترونات
- L_p طول انتشار الفجوات

من المعادلة (٧) نرى ان كل من عرض منطقة النضوب وطول انتشار الحاملات يلعب دوراً مهماً في التيار الضوئي ومقداره [8]. كما تمثل السعة احدى الخصائص التي يعول عليها في توصيف الوصلة.

في حالة الأضاءة لمستويات مختلفة من شدة الأضاءة. ان تعريض الكاشف للأضاءة يؤدي إلى زيادة في مقدار التيار المار وهذا التيار يسمى التيار الضوئي الذي يعطى بالمعادلة الآتية:-

$$I_{ph} = I_{Tot} - I_d \dots \dots \dots (٦)$$

حيث I_{Tot} التيار المار بالدائرة I_d تيار الظلام . ان هذه الزيادة ناتجة من تولد مزدوجات الكترولون- فجوة بسبب امتصاص الكاشف للضوء ،ان طاقة الفوتون الساقط عندما تكون اكبر او مساوية الى فجوة الطاقة للسليكون تعمل على تهيج الالكترونات من حزمة التكافؤ الى حزمة التوصيل وذلك يحدث عندما يكون امتصاص الضوء ضمن منطقة النضوب او ضمن منطقة الانتشار للحاملات. كما ان تسليط جهد عكسي يؤدي الى زيادة عرض منطقة النضوب وبالتالي زيادة مقدار التيار الضوئي. ان شعاع الليزر يمتلك طاقة كافية يعمل على صهر السليكون فتبدأ شوائب الأنديموم بالانتشار باتجاه انتشار موجة الليزر ،بعد الوصول الى اقصى عمق تبدأ عملية التبريد من داخل السليكون باتجاه السطح اي يكون اتجاهها عكس التسخين وعندما تبدأ عملية التصلب فان الطبقة المتصلبة تبدأ باقتناص تركيز معين من الشوائب الأنديموم وتدفع بالجزء المتبقي منه



شكل (٣): يمثل خصائص السعة - الجهد

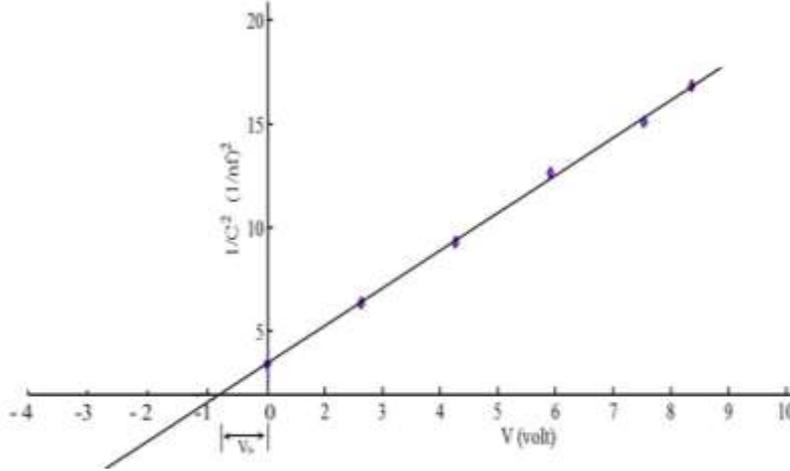
$$C=X^{-y} \dots\dots\dots (8)$$

(V)

حيث X: ثابت، y: يحدد نوع الوصلة

لتحديد نوع الوصلة يتم رسم علاقة بين مقلوب مربع السعة مع الجهد وكما في الشكل (٤).

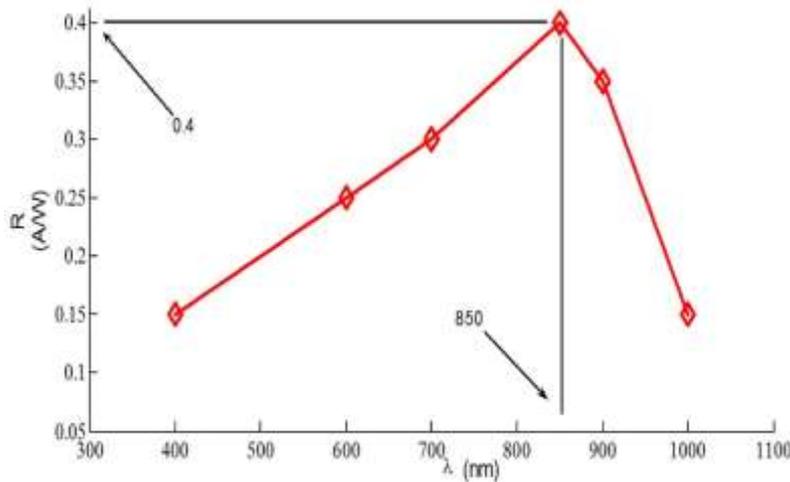
المكونة وتحديد نوعها كما نستطيع من خلالها معرفة جهد البناء الداخلي وعرض منطقة النضوب [9,10] حيث يوضح الشكل (٣) خصائص السعة - الجهد عند الانحياز العكسي للكاشف المصنع. حيث تتناقص السعة مع زيادة الجهد كما يزداد عرض منطقة النضوب مما يؤدي الى نقصان السعة تناقص اسي حسب العلاقة (8) [11].



شكل (٤): يمثل خصائص مربع مقلوب السعة - الجهد

بيدا بعدها بالنقصان قبل القمة وبعدها وهي ميزة الكواشف الفوتونية وليس لطاقة الليزر علاقة بذلك والسبب ان معامل الامتصاص لمادة السليكون عند الطول الموجي اقل من نظيره لبقية المناطق وبالتالي فان عمق الامتصاص يكون اكبر لأن امتصاص الضوء يكون ضمن منطقة النضوب او ضمن طول الانتشار - الحاملات - فيساهم بشكل فعال في زيادة الاستجابة [14].

من المعادلة (٨) نجد ان المقدار (y) سيكون (1/2) مما يدل على ان الوصلة من النوع الحاد (abrupt type) [9] كما يمكن الحصول على جهد البناء الداخلي (V_{bi}) الذي يعطى من تقاطع الخط المستقيم لمنحني (V-1/C²) مع محور الجهد (1/C²=0) [12,13]. كما درست الاستجابة الطيفية وهي من المواصفات المهمة التي من خلالها نستطيع ان نعرف الطول الموجي الذي يمكن ان يعمل به الكاشف المصنع حيث نلاحظ من الشكل (٥) ان اعلى قمة عند الطول الموجي (0.8μm)



شكل (٥): يمثل استجابة الكاشف

وسرعة ٢٠٠ ns وتم ملاحظة الاشارة الناتجة على جهاز اوسكوب وأخذ ٦٠% [15] من زمن الصعود حيث وجد أن سرعة الاستجابة للكاشف تتراوح بين (١٠٠-٨٠) ns.

كما تم ايجاد سرعة الكاشف المصنع وذلك من خلال ربطه بمقاومة ٥٠ Ω وتجهيزه بفولتية عكسية مقدارها ١٠ V وتعريض الكاشف المصنع الى ليزر نبضي {ليزر اشباه الموصلات (laser diode)} بمواصفات ٣٠٠ Hz

1. Rrady J.F. "Laser in modern industry" 1979, academic press Academic press New York, P69.
2. Sang Hyeob Kim, Nae-Man Park and Gun Yong Sung, Journal of the Korean Physical Society, Vol. 42, , P. S320-S324, 2003.
3. P.S.Peerey,Mo.Thmpson,&J.K.Tsao,Appl.Phys. Lett.V47,No.3,P244,1985.
4. P.S. Fogarassy, R. Stuck ,M. Toulemonde, D. Salles and P.S.F fert J.Appl.Phys.,V54,No.9,P5059,1983.
5. T. Sameshima & S. Usui, Japan, J. Appl. Phys. Semiconductor, V26,No.7,P1208 ,1987.
6. W.K. Hamoudi, R.O.Dala Ali. Journal of materials, V35, No5, P6, 2000.
7. S.M.Sze "physic of semiconductor device" John Wiley & Sons, P 74,304,1981.
8. S.G. Kivak & V. Saritskil, Sov, Phys. Semiconductor, V18, No.11,P1223,1984.
9. I.H. Park, J.H. Hahn, W. Han, H.J. Hyun, S.Y. Hyun, H.J. Kim, M. Kim, Y.J. Kim, J.K. Lee, M.H. Lee, K.W. Min, W. Nam, H. Park, N.H. Park, E.S. eo,5 K.I. Seon,3 J.H. Sone,1 J. Yang1"Design and Construction of the Silicon Charge Detector for the CREAM Mission"28th International Cosmic Ray Conference, pp. 2105–2108, 2003 by Universal Academy Press,Inc.
10. S. Friligkos, V. Papaioannou, J. Stoemenos, R. Carluccio, S. Cina & G. Fortunato, J. Of crystal. Groth, P1-4, 1997.
11. J E BRAU, et. al., Journal Of physics, Indian Academy of Sciences Vol. 69, No. 6,P1025 , 2007.
12. I.H. Parka. et. al, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A V 570 ,P 286–291, 2007.
13. C.N. Bailey. Z. Ahmed. D.S. Akerib. P.L. Brink. B. Cabrera. J.P. Castle. J. Cooley. M.E. Danowski. M.R. Dragowsky. J. Filippini. D.R. Grant. R. Hennings-Yeomans. N. Mirabolfathi. L. Novak . R.W. Ogburn . M. Pyle . J. Ruderman . B. Sadoulet . R.W. Schnee . D.N. Seitz . B. Serfass . K.M. Sundqvist . A. Tomada . B.A. Young, Journal of Low Temp Phys, V151, P211, 2008.
14. H. G. Nam,- M. S. Shin, K. H. Cha and N. I. Cho, Journal of the Korean Physical Society, Vol. 48, No. 6, P. 514_1519, 2006.
15. H. Park,- H. J. Hyun, D. H. Kah, H. D. Kang, H. J. Kim, Y. I. Kim, Y. J. Kim and D. H. Shim, Journal of the Korean Physical Society, Vol. 49, No. 4, P. 1401_1406, 2006.

Fabrication of Silicon Doped Indium Detector by Laser Radiation Method

Yassin.H. Mahmood¹, Rahman I. Mahdi¹, Nabeil J. Bahnam², Mohmad S. Mare¹.

¹*Physics Science Department , College of Science , University of Tikret , Tikret , Iraq*

²*Physics Science Department , College of Science for Women , University of Baghdad , Baghdad , Iraq*

(Received 19 / 11/ 2008 , Accepted 25 / 5 / 2009)

Abstract:

Silicon doped -Indium detector has been constructed in this research (n -type) single crystal with (111) direction using laser diffusion impurity. The results showed that the diode (detector) was junction abrupt have spectral response was about (0.4A/W) at wave length (0.85 μ m) and rise time around (80 ns).