



دراسة العيوب المحتثة للسليكون أحادي البلورة من جراء التشعيع بليزر Nd- YAG النبضي

معروف جميل ربيع*
إبراهيم جاسم عبد الله**
عبد الكريم حمودي عساف*
عصمت رمزي عبد الغفور*

* كلية العلوم - قسم الفيزياء

** كلية التربية - قسم الفيزياء

الخلاصة:

إن تفاعل الليزر مع شبه الموصل (السليكون) من العمليات المهمة جداً التي يجب أن تؤخذ بنظر الاعتبار عند استخدام الليزر في التطبيقات الصناعية. إذ إن هذا التفاعل له دور كبير في التأثير على ميكانيكية الانتشار المحتث بالليزر والذي يرتبط أساساً بأداء الكواشف من خلال الخصائص البصرية لشبه الموصل. بينت الدراسة الحالية إن العيوب الحاصلة في السليكون أحادي البلورة من جراء التشعيع بليزر Nd-YAG وبطول موجي $1.06\mu\text{m}$ وأمد نبضة 10ms والتي تتضمن تلفاً على شكل (تكسرات، تحذبات، تقعرات، ثقوب) واعتماداً على كثافة القدرة حيث استخدم لهذا الغرض المجهر البصري. كما أظهرت نتائج دراسة حيود الأشعة السينية تحولاً طورياً من أحادي البلورة الى الطور (متعدد البلورات، العشوائي) عند التشعيع بذروة قدرة (0.75Kw , 1.4Kw) على التوالي. كما وجد ان المقاومة السطحية وعمق الاختراق يتناسب طردياً مع زيادة قدرة التشعيع.

معلومات البحث:

تاريخ التسليم: 2007/12/12

تاريخ القبول: 2008/4/23

تاريخ النشر: 2012 / 6 / 14

DOI: 10.37652/juaps.2008.15321

الكلمات المفتاحية:

العيوب المحتثة ،
سليكون أحادي البلورة ،
ليزر Nd- YAG النبضي.

المقدمة:

ان لتفاعل شعاع الليزر ذي القدرة العالية مع المادة تأثيراً على تلك

تعرف العيوب المحتثة (induced defects) على انها عيوب تنشأ

المادة ويشمل هذا التأثير تحولاً طورياً في المادة ، فقد يحدث تسخين

في البلورة نتيجة تعرضها لمؤثر خارجي قد يكون هذا المؤثر بسيطاً

(heating) بدون تحول في الطور ، وقد ترتفع حرارة السطح إلى درجة

بحيث يغير من وضع بعض الذرات كما في الشد السطحي وتكون هذه

الانصهار (melting) ثم إلى التبخير (vaporization) واعتماداً على

العيوب مشابهة للعيوب التركيبية، وقد يكون المؤثر شديداً جداً بحيث

كثافة الطاقة الممتصة [1 , 2 , 3 , 4] وهذا يحدث عندما تكون كثافة

يغير من طور المادة، وعمل سبيل المثال التشعيع بليزر ذي كثافة طاقة

قدرة ليزر التشعيع اقل من (109 w/cm^2) وعند زيادة الكثافة عن هذا

عالية وتختلف هذه العيوب باختلاف المؤثر وشدته.

المقدار سوف تحدث عملية تأين للبخار بواسطة شعاع الليزر الساقط

متكونة بذلك البلازما والتي تلي درجة حرارة التبخير للمادة المشععة [5]

. فعند سقوط شعاع الليزر على شبه الموصل ذي فجوة الطاقة غير

* Corresponding author at: college of Science - Department of
Physics Iraq;

E-mail address: asmathadithi@yahoo.com

ونلاحظ من العلاقة (2) إن كثافة الطاقة تقل كلما زاد قطر الحزمة.
تؤثر كثافة الطاقة على عمق الانصهار، فزيادة كثافة الطاقة يزداد
عمق الانصهار للمادة شبه الموصلية والشكل (1) يوضح تأثير تغير
كثافة الطاقة على عمق الانصهار كدالة لزمن النبضة [8].

كما إن للطول الموجي (wave length) أثراً محسوساً في عملية
امتصاص الطاقة من قبل المادة حيث انه يرتبط بالانعكاسية من خلال
العلاقة: [9]

$$R = 100 - 0.693\sqrt{\rho(3)} / \lambda$$

حيث أن:

$$\lambda = \text{الطول الموجي لشعاع الليزر.}$$

$$\rho = \text{المقاومة الكهربائية (electrical resistivity)}$$

وبالتالي تؤثر في امتصاصية المادة شبه الموصلية للطاقة والشكل (2)
يوضح تأثير الطول الموجي على انعكاسية السليكون البلوري [8].

ويمكن التحكم بأمد النبضة (pulse duration) بواسطة دائرة
(RLC) لدائرة ضخ المرنان، وان زمن النبضة يعتمد على نوعية
التطبيق، ففي عملية اللحام يكون زمن النبضة أطول مما عليه في عملية
التنقيب مما يزيد من زمن التفاعل (interaction time) ومن ثم زيادة
كمية الطاقة الممتصة وعملية الانتقال الحراري وعملية التصلب
(solidification) [10, 11]. ففي حالة الطاقات العالية لشعاع
الليزر يكون زمن النبضة طويلاً ويزيادة زمن النبضة يزداد عمق

المباشرة (indirect energy gap) فان جزءاً من طاقته سوف يمتص
ناقلاً إلكترونات من حزمة التكافؤ إلى حزمة التوصيل نتيجة لامتناس
الضوء الساقط بطاقة اكبر من فجوة الطاقة لشبه الموصل (الامتصاص
الأساس) (fundamental absorption) ويتجاوز طاقة الشعاع لفجوة
طاقة شبه الموصل سوف يتولد زوج (إلكترون- فجوة) والذي يتحد
بعملية تحول غير مشعة (فونون) (phonon) والذي يعطى على شكل
حرارة إلى شبيكة المادة [6] وهذه الحرارة هي التي تسبب العمليات
الفيزيائية المصاحبة لتفاعل شعاع الليزر مع شبه الموصل [5]. إن
ميكانيكية تفاعل ضوء الليزر مع شبه الموصل تتأثر بعدة عوامل منها
ما هو خاص بشعاع الليزر نفسه (كثافة الطاقة، الطول الموجي، أمد
النبضة) ومنها ما يعود إلى المادة شبه الموصلية (التوصيلية الحرارية،
السعة الحرارية، خشونة السطح) وهي كالاتي:

إن كثافة الطاقة (energy densit) هي الطاقة لوحدة المساحة

وحسب العلاقة التالية :- [7]

$$ED = E/Aa \dots\dots\dots (1)$$

$$E = \text{الطاقة بالجول}$$

$$Aa = \text{مساحة المقطع العرضي للحزمة الساقطة.}$$

وبالتعويض عن مساحة بقعة الليزر ($\pi.r^2s$) تصبح المعادلة اعلاه:

$$ED = E/ \dots\dots\dots (2) \pi.r^2s$$

حيث تمثل (rs) نصف قطر البقعة،

السطح حيث انه كلما كانت خشونة السطح عالية كلما زاد عمق النفاذ لشعاع الليزر [14].

الجزء العملي:

1. تم تقطيع شرائح السليكون بأبعاد (0.35x19x32mm)
2. تم تشعيع الشرائح بليزر (Nd-YAG) النبضي وبطول موجي (1.06µm) وأمد نبضة (10ms) وبظروف تشعيع مختلفة.
3. تم اجراء الفحص المجهرى لمناطق التشعيع باستخدام المجهر البصري نوع (metal lux 3) وبقدرة تكبير (500) مرة
4. لاجل دراسة التغير في البنية التركيبية من جراء التشعيع تم استخدام جهاز حيود الأشعة السينية (XRD) من نوع (Philips pw 1410) والذي يولد اشعة سينية بطول (A°1.937) ولمدى مختلف من الزوايا (60,90,....).
5. تم قياس المقاومة السطحية (sheet resistance) باستخدام منظومة المجسات الاربعة (4 point probes)

النتائج والمناقشة:

أظهرت نتائج قياس المقاومة السطحية وعمق الاختراق تناسباً طردياً بزيادة قدرة التشعيع، وتم تفسير هذه الزيادة على النحو الآتي:
أن عمق منطقة التشعيع يزداد بزيادة قدرة التشعيع وهذه الزيادة سوف تزيد من العيوب التركيبية ونتيجة لعمليات سرعة اعادة التصليب سوف

الانصهار حيث إن زمن النبضة القصير لا يسمح بإتمام عملية انصهار المادة [12,13].

هذا من جانب، ومن جانب آخر فيما يخص مادة شبه الموصل فان التوصيلية الحرارية والسعة الحرارية وخشونة السطح (surface finish) من المعالم المؤثرة جداً في عملية تفاعل الليزر مع شبه الموصل، حيث تعرف التوصيلية والسعة الحرارية بدلالة الانتشارية الحرارية (thermal diffusion) التي تلعب دوراً مهماً في عملية الانتقال الحراري حسب العلاقة الآتية [10]:

$$\rho D = K / C_p \quad (4)$$

إن الانتشارية الحرارية تحدد قابلية السطح على الامتصاص ومن ثم الانتشار الحراري حيث انه من معرفة الانتشارية الحرارية للمادة شبه الموصلة يمكن حساب طول الانتشار الحراري الذي يعتمد على زمن نبضة التشعيع حسب العلاقة الآتية [5]:

$$L = (2D\tau_p)^{1/2} \quad (5)$$

تتناقص التوصيلية الحرارية بزيادة درجة الحرارة إلى أن تصل المادة إلى الانصهار لكي تبدأ بعدها بالزيادة. أما خشونة السطح فإنها تؤثر على انعكاسية المادة إذ تزداد كمية الطاقة الممتصة نتيجة لزيادة الانعكاسات الداخلية لسطح المادة والتي تعمل على تسخين وصهر المادة شبه الموصلة والشكل (3) يوضح عمق النفاذية كدالة لخشونة

اما بالنسبة للعيوب المحتثة فقد تبين شكلها وعمقها تبعاً لظروف التشعيع فعند التشعيع بذروة قدرة (0.025kw) كانت نتيجة التشعيع هي ظهور تكسرات وشقوق خطية في وسط المنطقة المشعة تتلاشى هذه الشقوق كلما اقتربنا من مركز المنطقة المشعة حيث فسرت هذه الظاهرة من قبل بعض الباحثين مثل ماتسوكا (Matsuoka) [16] على ان عتبة طاقة الليزر التي تحدث فيها تكسرات تعتمد على زمن النبضة الامر الذي يعني ان عملية التكسر هذه سببها الهزات الحرارية (Thermal Shocks) اذ ان التدرج في الحرارة المتولدة بسبب طاقة الاشعاع الممتص ولدت شداً في البلورة لذا ستكون صلادة السطح اقل من صلادة المادة نفسها، هذا من جانب ، ومن جانب آخر يمكن تفسير هذه التكسرات اعتمادا على الهزات الحرارية الناتجة بسبب التسخين ثم التبريد السريع والتي ولدت بدورها اجهادات ضاغطة سببت هذه التكسرات. اما سبب اختفائها كلما اقتربنا من مركز المنطقة المشعة فيعزى الى تدرج الحرارة الممتصة من قبل المادة والشكل رقم (7) يبين تلك التكسرات.

وبزيادة كثافة القدرة الى (0.75kw) لاحظنا وجود دوائر غير منتظمة الشكل سببها النمط الكاوسي لشعاع الليزر الساقط وصولا بالمادة الى بداية مرحلة الانصهار شكل رقم (8) وعند قدرة التشعيع (1.4kw) بدأ ظهور معلم جديد وهو تلف على شكل تصدع كبير وتحديات تحاط بخطوط دائرية يمكن ان تفسر على ان التشعيع بالليزر

يزداد تركيز هذه العيوب عند السطح والتي تتصرف كمراكز لإعادة الاتحاد (recombination centers) او مراكز اقتناص (Trapping Centers) والتي تمثل مستويات طاقة عميقة ضمن فجوة الطاقة للسليكون والتي تعمل على تقليل التوصيلية الكهربائية وبالتالي زيادة المقاومة السطحية [15] والاشكال (5,4) تبين تغير المقاومة السطحية وعمق الاختراق للسليكون احادي البلورة كدالة لقدرة التشعيع.

كما يوضح الشكل (6a) منحنى حيود الاشعة السينية للسليكون قبل التشعيع حيث يتبين من خلاله انه يمتلك ترتيباً احادي البلورة أي يمتلك الترتيب ذا المدى الطويل والشكل المحدد الشبيكة لشريحة ذات اتجاهية $\langle 1,1,1 \rangle$ ولمسافة بينية ($d= 1.363A^\circ$) ولوحظ عند التشعيع بذروة قدرة (0.75kw) فان النتيجة كانت حدوث تدهور في الخصائص البلورية للمنطقة المشعة كما موضح في الشكل (6b) حيث حدث نقصان كبير في شدة القمة عند ($2\theta=90^\circ$) والتي اعطت دلالة على حدوث تحول طوري للمنطقة المشعة من الطور الأحادي الى الطور متعدد البلورات ، ومرد ذلك ان التشعيع بطاقة عالية احدث انصهاراً ومن ثم إعادة تصلب بسرعة عالية بحيث لم تتمكن الشريحة من إعادة تبلورها لان زمن الانصهار قليل جداً مما اكد كلامنا ان زيادة مقدار قدرة التشعيع الى (1.4kw) ادى الى التحول الى الطور العشوائي شكل (6c) .

1. تتولد عيوب محتثة من جراء التشعيع بالليزر وهذه العيوب تناسبت طردياً مع زيادة قدرة التشعيع.

2. تضمنت العيوب تفاعلاً على شكل تكسرات وتشققات سببها الصدمة الحرارية.

3. ظهرت عيوب على شكل تصدع كبير مردها ان عملية التشعيع بالليزر هي عملية تراكم حراري ، وكذلك

ظهرت عيوب على شكل ثقوب كبيرة كانت نتيجة لوصول حرارة المنطقة المشععة الى درجة حرارة التبخير ويزمن قليل جداً.

4. اظهرت نتائج حيود الاشعة السينية تحولا طوريا للمنطقة المشععة من الطور احادي البلورة الى الطور (متعدد البلورات ، عشوائي) ويزيادة قدرة التشعيع.

5. ظهور العيوب المحتثة ادى الى زيادة المقاومة السطحية للسليكون المشع وبالتالي نقصان في التوصيلية الكهربائية له .

المصادر:

- [1] Letokhow, V. S. Ustinov, N. D. "Power Laser" Harwood Academic, (USA) P. (4-5) (1983).
- [2] "Power Laser" Fuxi , Gan 2001 p. (128)
- [3]- M.ABSS "Laser Material Processing" P. (93-95) (1982).

هي ملية تراكم حراري ترتفع بها درجة الحرارة الى حرارة الانصهار ثم الى حد التبخير وهذا البخار يكون نفثاً بخارياً مما يولد هذا التصدع الذي يتبعه بعد ذلك تكون حافات التقعر من المادة المنصهرة [17] بالاضافة الى ظهور هذا التلف تضمن مركز هذا التصدع بروزاً يرتفع بعض المايكروونات وبعض القطرات الكروية شكل رقم (9) والذي فسر حسب ما طرحه العالم (Ready) [18] بنموذجه الذي اسماه الضغط المرتد والذي اعتمد اساساً على ممانعة التبخر الناتج بواسطة الضغط المرتد للمادة المتبخرة وهذا الضغط يتولد من الجزء الأول من نبضة الليزر بينما يسبب الجزء الأخير من النبضة تسخيناً فائضاً للسطح مولداً جبهة تبخر ثانوية بضغط عال مسلط على السطح، وعليه يمكن ان نرجع ظهور القطرات الكروية الى عملية التبخر الأولية وظهور البروز من الضغط الذي يصاحب التبخر الثاني والذي ينتهي بتصلب نتيجة لانتهاء نبضة الليزر.

كانت نتيجة التشعيع بذروة قدرة (1.6kw) ظهور ثقب واضح محاط بدوائر متحدة المركز ويمكن إرجاع سبب ظهور هذه الدوائر المتحدة المركز إلى حدوث التداخل بين شعاع الليزر الساقط والمنعكس شكل رقم (10).

واخيراً تم تصوير المناطق المشععة بمقطع جانبي لبيان البروز والقطرات الكروية وأثار الصدمة الحرارية المشار اليها سابقاً شكل رقم

(11) (12). نستنتج ما يأتي:

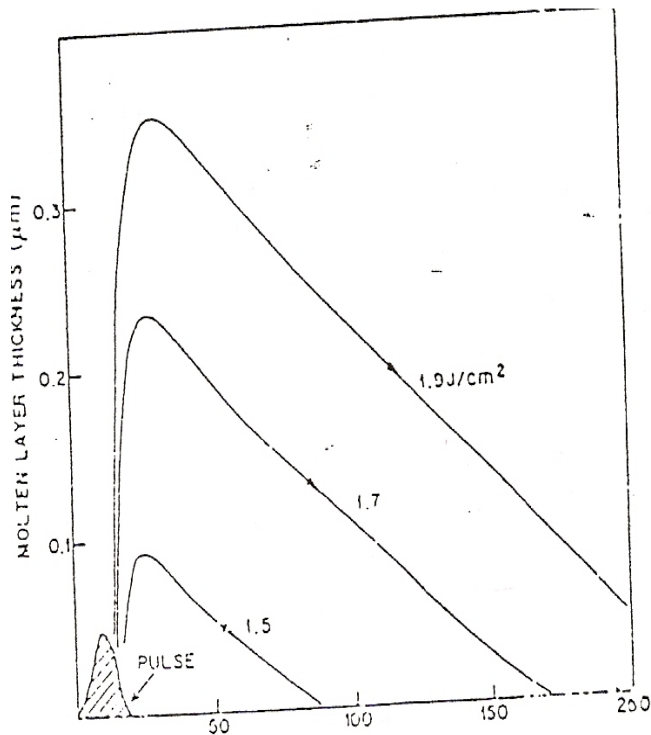
[14] القيسي، رائد عبد الوهاب "لحام المعادن باستخدام الليزر" رسالة ماجستير، الجامعة التكنولوجية، صفحة (3،19) (1991).

[15]- V. "Lo, Y.W. Wong , H, Cho, YQ- chem. , and K.Y. Tong , semicond.Sci Technol., Vol. H, P. 1285) (1996).

[16]- Y.Matsuoka, J. phys. D: Appl. Phys, (1976) p. (215)

[17]- S1. Anisimov, Am, Bouch- Brewich, A. Ye. E and Gs. Romanoo- Sov., pnys. Tech. phys. Vol. 11, p. (445) (1967).

[18]- Read. J. f.: j, Appl. Phys. Vol. 136, p (462) (1965).



شكل (1) تأثير تغير كثافة طاقة الليزر على سمك الطبقة المنصهرة خلال زمن النبضة [8]

[4] "Laser Material Processing" B.W.M Stean, spring 2004, p. (227-253)

[5]- Van Allmen, A Bultter "Laser Interaction with Materials" springer. P. (337- 354) (1998)

[6]- J.C.Muller. A. and J.J Grob, CRN/EPR P. (1-3) (1978).

[7]. خالد عبد الحميد الخطيب ، د. وليد خلف حمودي. "ضوئيات

الكم والليزر"، الجامعة التكنولوجية، صفحة (127 ،131) (1986)

[8] البرزنجي، اسيل عبد الكريم "تصنيع ودراسة خصائص الكاشف

السليكوني المصنع بواسطة تقنية الانتشار المحتث بالليزر" ، رسالة

ماجستير ، الجامعة التكنولوجية ، (1997).

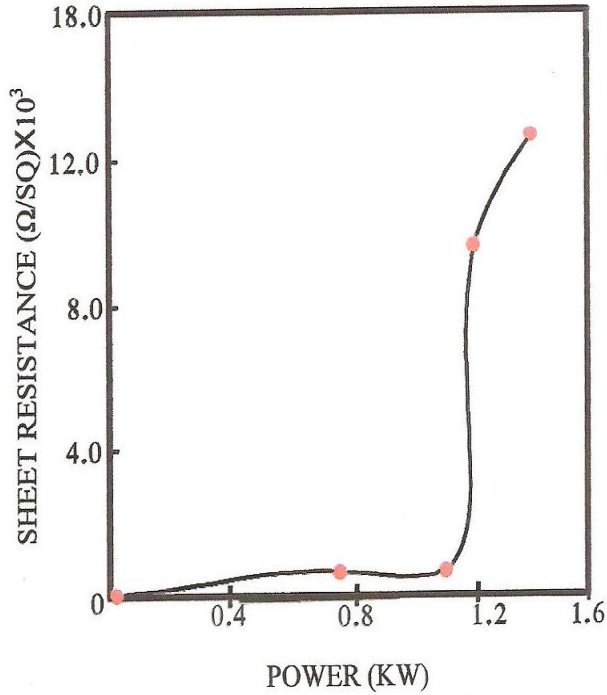
[9]- Folwles , Grant. R. "Introduction to Modern Optics" Rinehart and Winston, Inc (USA) P. (198) (1968).

[10]- Chorshon. S. S "Laser Industry", Van Nastrand Reinhlod Co.P. (139), (1972)

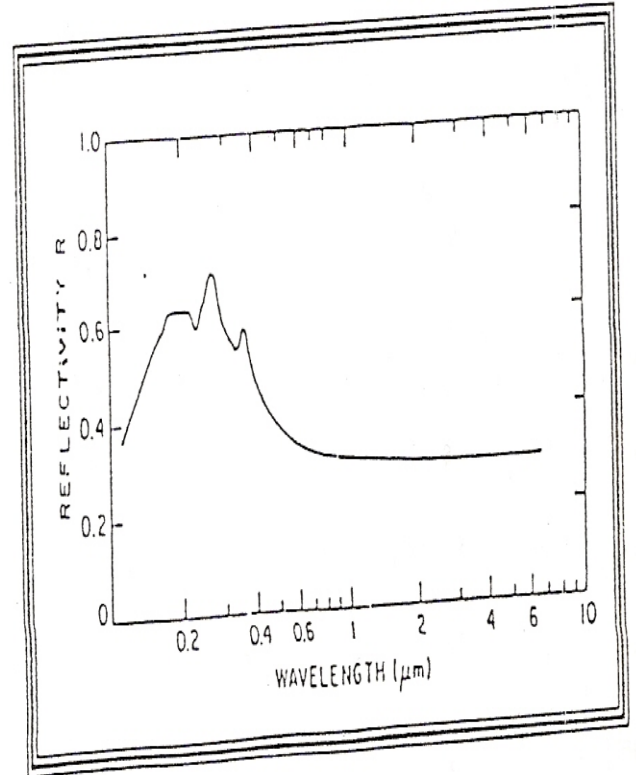
[11]- Marten, L, EL, Karerh, A. B., "Electron Beam and Laser Beam Technology" Academic press (USA) 1968.

[12]- Kominow, Ivon. P. siegmon, Anthony. E "Laser Devices and Application" IEEE press (USA) P. (385) (1973)

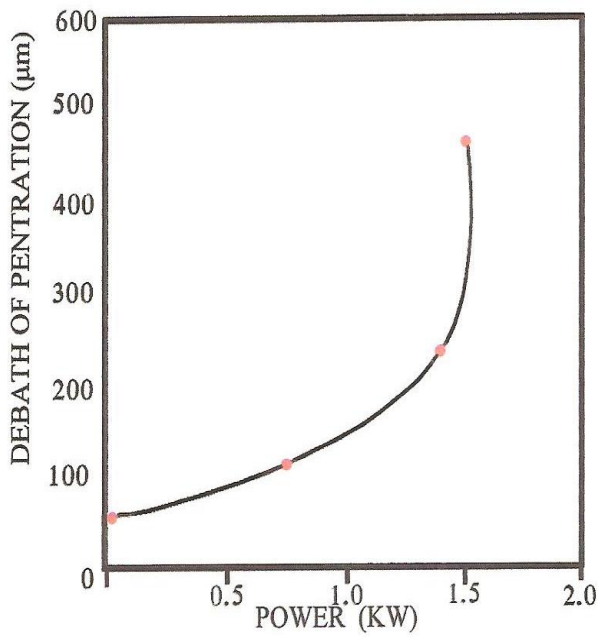
[13] "Laser Technology and Application" Colin, E, Weeb, Julian D.C, Jones 2005 Francis, p. (1273)



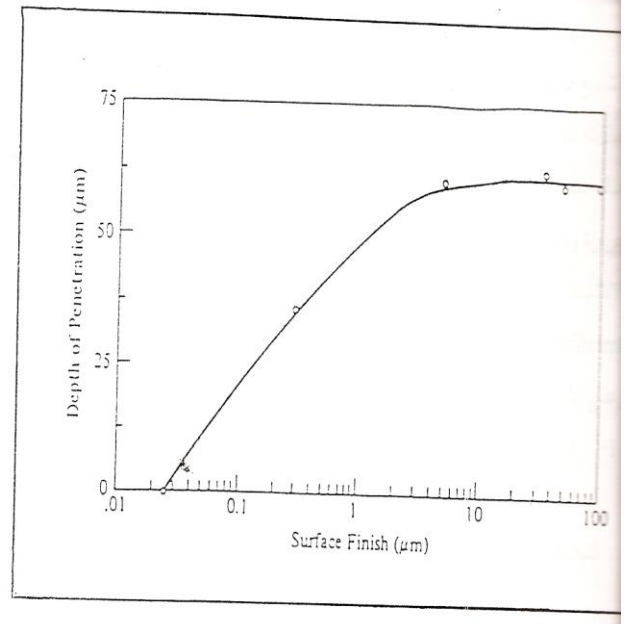
الشكل (4) يمثل تغير المقاومة السطحية كدالة لقدرة التشعيع



شكل (2) تأثير الطول الموجي على انعكاسية السليكون [8]



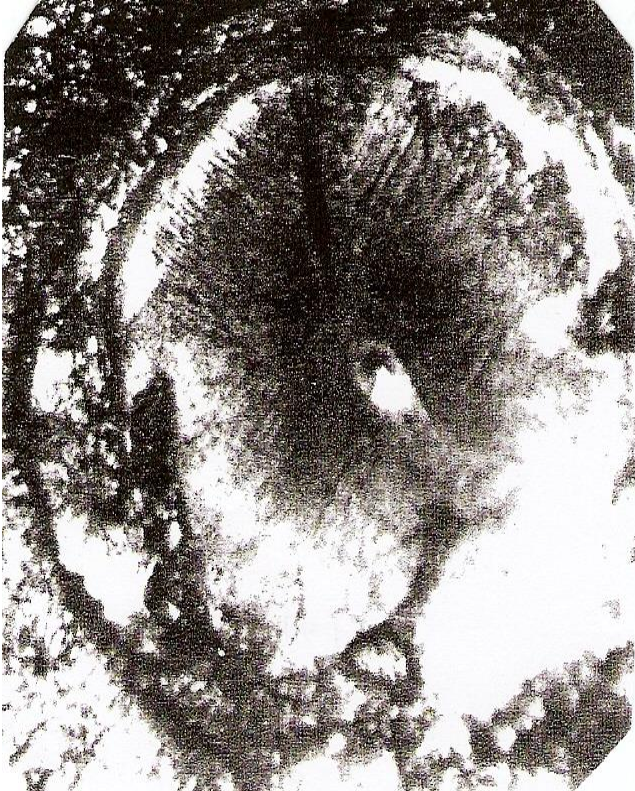
الشكل (5) يبين منحنى الاختراق كدالة لقدرة التشعيع



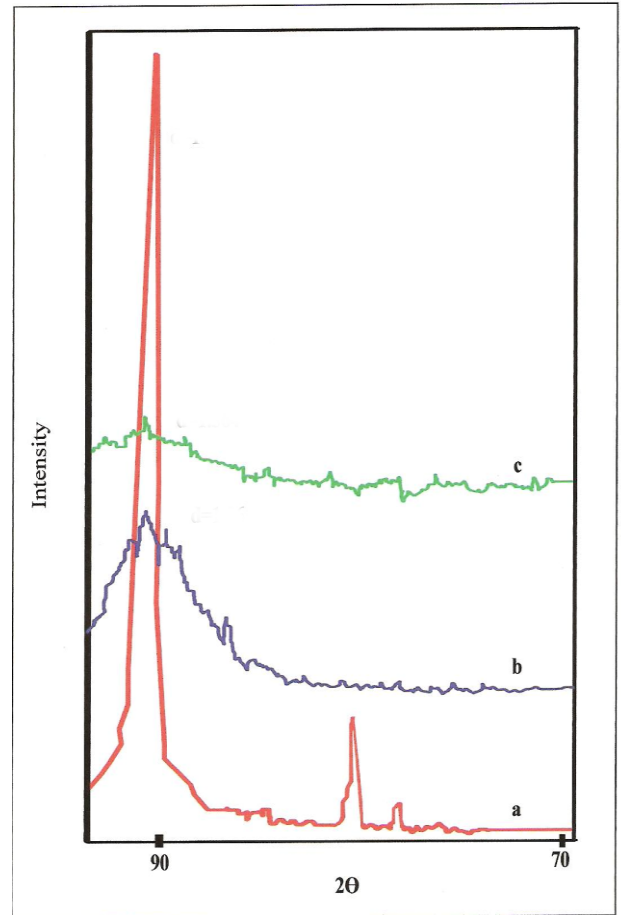
شكل (3) عمق النفاذية كدالة لخشونة السطح للنحاس عند معالجته بليزر الياقوت [14]



شكل رقم (8) يبين السليكون المشع بذرورة طاقة (kw0.75)



شكل رقم (9) يبين السليكون المشع بذرورة طاقة (kw1.4) والمتضمن البروز في مركزه



الشكل (6) يبين نمط حيود الأشعة السينية لسليكون أحادي البلورة مشععة بليزر Nd:YAG
. a. نمط الحيود لسليكون أحادي البلورة قبل التشعيع بليزر Nd:YAG .
. b. نمط الحيود بعد التشعيع بليزر Nd:YAG بذرورة قدرة (0.75 KW).
. c. نمط الحيود بعد التشعيع بليزر Nd:YAG بذرورة قدرة (1.4 KW).



شكل رقم (7) يبين السليكون المشع بذرورة طاقة (kw0.025)



شكل رقم (12) مقطع جانبي للشرايح يبين القطرات الكروية



شكل رقم (10) يبين السليكون المشع بذروة طاقة (kw1.6)



شكل رقم (11) مقطع جانبي للشرايح يبين آثار الصدمة الحرارية والبروز

Study of induced defects for silicon single crystal by pulse Laser Nd – YAG irradiation

Maroof J. Rabee Ibrahim J. Abdullah Abdul-Kareem H. Assaf Asmat R. Abdulgaffor

E.mail: asmathadithi@yahoo.com

Abstract:

The Laser interaction with the semiconductor (si) is very important operations, which are so important in Laser industrial applications. For this interaction the effected mechanical of induced diffusion which connected in this work of detectors during the optical properties for the semiconductor. This study showed that the defects happening in single crystal of silicon kind-n. Irradiation by Laser Nd-YAG with wave length (1.06 μ m) and pulse duration (10ms) which conclude defects as (cracks, concaves, convexes and holes) forms and depending on radiation power where optical microscope was used for this purpose. The result of the diffraction of x-ray showed a phase change from single crystal to (poly crystalline and amorphous) when using the radiation in period power (1.4kw , 0.75kw) consecutively. Also the surface resistance and the penetration depth were found proportional to increasing of the radiation power.