دراسة أبعاد وشكل ثقب لمعدن الفولاذ المقاوم للصدأ(٣٠٤) تحت تأثير ظروف التشغيل الحراري لبلورة لا خطية نوع (KD*P)

د/ مهند رشيد إسماعيل

أستاذ الفيزياء المشارك – كلية العلوم – جامعة إب

الخلاصة :

في هذا البحث تم دراسة تأثير درجة حرارة البلورة اللاخطية نوع (KD*P) على كفاءتها التحويلية لتوليد الطول الموجي (0.53μm) ودراسة تأثير ذلك على أبعاد ثقب ومخروطية معدن الفولاذ المقاوم للصدأ (٣٠٤) ، حيث لعبت درجة حرارة البلورة دوراً كبيراً في زيادة الكفاءة التحويلية فكانت أفضل درجة حرارة (٣٦°C) ، كذلك لوحظ أن أبعاد الثقب (القطر والعمق) والنسبة الباعية (Aspect Ratio) والمنطقة المتأثرة بالحرارة (Heat Affected Zone) (HAZ) قد زادت بزيادة طاقة الليزر (Laser Energy) ، بينما قلت مخروطيته (Hole Taper) بزيادة الطاقة.

Abstract

In this research study, the influence of temperature of the (KD*P) non-linear crystal on its second harmonic generation efficiency has been investigated. The aforementioned crystal was used to convert the (1.06μm) wavelength to (0.53μm). The laser effect was studied as with respect to its influence on the hole dimensions of the stainless steel metal (304). Hole diameter and depth, Aspect ratio and HAZ (Heat Effected Zone) were found to significantly increase with the increase of laser energy. However, hole taper was found to decrease, the results showed a good enhancement on the hole dimensions on the (36C) temperature.

١. المقدمة Introduction:

لقد بدأ العمل باستخدام الليزر كوسيلة ميكانيكية بعد فترة قصيرة من اكتشافه في بداية الستينات وخلال العقود الأربعة المنصرمة تنوعت الاستعمالات وتعددت الحالات التي لا يستغنى فيها عن استخدام الليزر مثل التصليد والقطع والتثقيب، حيث يتم في العملية لأخيرة انتخاب كثافات قدرة عالية تكفي لتحقيق تبخر سريع للمادة قبل انتشار الحرارة في حجم كبير داخلها وبالتاي تم حصر عملية الانتشار الحراري في جزء المادة

المزالة فقط لتكوين ثقب [1] .

إن عمليات السيطرة على معلمات حزمة الليزر تصبح عاملا مهما للحصول على إشكال هندسية منتظمة للثقوب للأغراض التطبيقية المختلفة [2] .

تم في هذا البحث إجراء دراسة تتضمن محاولة تحسين خصائص الثقب الناتج عن استخدام شعاع ليزري ناتج عن التولد التوافقي الثاني لشعاع ليزر (نيديميوم – ياك) باستخدام بلورة(KD*P) بعد إجراء عملية تسخين البلورة اللاخطية من C° (70- 30) ودراسة تأثير ذلك على أبعاد وشكل ذلك الثقب ، وعلى كفاءة التحويل لتوليد الترددات التوافقية الثانية حيث تعتمد كفاءة التحويل العالية لتوليد التوافق الثاني على معاملات تتعلق بالمصدر الليزري ، أهمها كثافة قدرة الشعاع الليزري اذ تتناسب كفاءة التحويل مع كثافة قدرة أشعة الليزر الأساس المستخدم [3] ،عندما تكون كفاءة تحويل البلورة أعلى من(٢٠%) فإن التوليد التوافقي الثاني يبدأ بالانحراف عن العلاقة الخطية (انظر العلاقة ١) وذلك بسبب الاضمحلال الذي يحصل في قدرة الشعاع الليزري الأساس .

كذلك تزداد كفاءة تحويل المواد اللاخطية في عملية التوليد التوافقي الثاني بتحقيق عملية التطابق الطوري لمتجه موجة الشعاع بالنسبة لاتجاه المحور البصري وهذا يتم من خلال تحديد انحراف الشعاع الليزري بحيث يكون قريبا من الاتجاه الصحيح[4] ، كذلك تعتمد كفاءة التحويل على سطوع الطيف [5] وانتظام طور النمط الطولي [6]وعلاقة التناسب الموضحة في أدناه تبين المعلمات التي تتناسب معها كفاءة التحويل[3] .

$$P_{SH} \alpha L^2 P_f^2/A^* \{\sin^2\Delta\Phi/(\Delta\Phi)^2\} \quad \text{.....(1)}$$

إذ أن:-

P_{SH}: قدرة التوافق الثاني.

L : طول البلورة اللاخطية.

P_f : القدرة الأساسية للشعاع الليزري الابتدائي.

A : مساحة المقطع العرضي للحزمة الليزرية في البلورة اللاخطية.

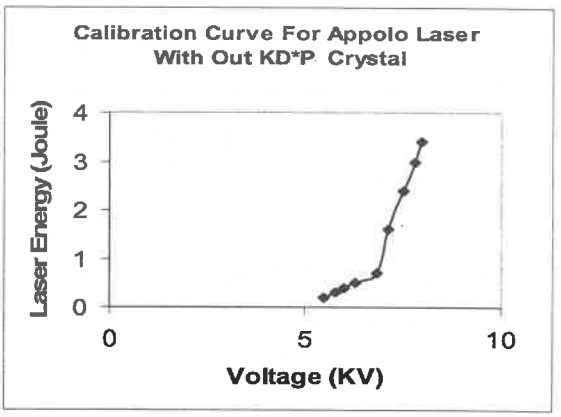
$\{\sin^2\Delta\Phi/(\Delta\Phi)^2\}$: يمثل هذا المقدار عامل تطابق الطور بين شعاع الليزر الأساسي وشعاع التوافق الثاني (حيث يتراوح مقداره بين الصفر والواحد) ولابد أن يكون هذا العامل قريبا جدا من الواحد لأجل الحصول على كفاءة تحويل عالية.

أما عوامل التولد التوافقي الثاني المؤثرة في كفاءة التحويل فإنها عديدة منها طول البلورة Crystal (length) حيث تتناسب كفاءة التحويل مع مربع طول البلورة [5] ، من ناحية أخرى يجب الا يكون الطول كبيراً كي لا تبرز مشكلة عدم انتظام الوسط بصريا ، كذلك تعتمد كفاءة التحويل{ وهي النسبة بين قدرة التوافق الثاني الى القدرة الأساسية للشعاع الليزري الابتدائي أي (P_{SH}/P_f)} اعتماداً كبيراً على درجة حرارة البلورة التي تعتبر أساسا لمعامل الانكسار عند حرارة التطابق الطوري .

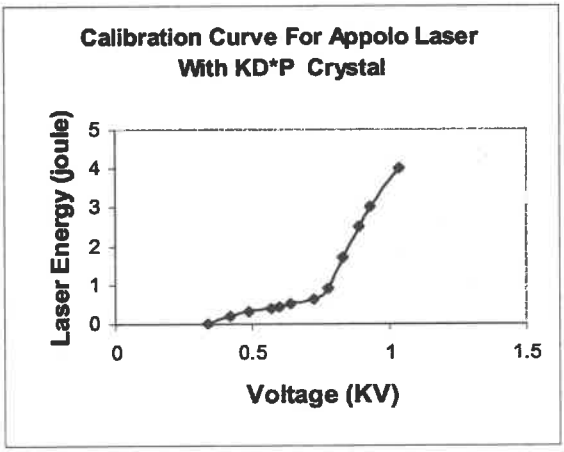
إن التغير في درجة حرارة الأوساط اللاخطية والبلورات ثنائية الانكسار تكون بسبب التغير في درجة حرارة المحيط أو ربما بسبب الخسائر الناتجة عن الامتصاص الذي يحصل في البلورة [5] . إن عملية توليف درجة حرارة البلورة اللاخطية يتم بتسخين البلورة أو تبريدها حتى يصبح معامل انكساره الاعتيادي عند الطول الموجي الأساسي مساويا لمعامل انكسارها غير الاعتيادي عند الطول الموجي التوافقي وبذلك ستتجنب المشاكل المتعلقة بتطابق الطور والتي يسببها التشتت لان معامل الانكسار هو نفسه لكلا الطولين الموجيين [7,8] ، إن من أهم أسباب التشتت هو عمليات الامتصاص الضوئي للبلورة اللاخطية(الذي يحد من النفوذية) ان الزيادة اللاخطية في هذا النوع من البلورات المتديترة هو الذي يقلل من امتصاصها للاشعة تحت الحمراء يضاف الى تأثير درجة الحرارة ، تأثير زاوية تطابق الطور (Phase matching angle) ومعامل اللاخطية (Non- linearity coefficient) للبلورة [5] .

٢. الأجهزة المستخدمة Materials and Equipment:

أ.منظومة ليزرالنيديوم – ياك التجريبي نوع (Appolo Laser) يتميز هذا الليزر بأن لنبضته أمد يبلغ(٥٠٠μsec) وله مرآة أمامية مستوية انعكاسيتها (30%) ومرآة خلفية مقعرة نصف قطر تكورها (r_s = 4m) وانعكاسيتها (100%) يبلغ قطر الوسط الفعال (Active medium) [(قضيب الليزر) (laser rod)حوالي (0.95cm) وطوله (10cm) يلتف حوله مصباح وميضي حلزوني (Helical flash lamp) نوع زينون (Xe) ضغط الغاز فيه (450 Torr) ، تم قياس طاقة الليزر الخارجة باستخدام مقياس الطاقة الرقمي نوع(ACM-101) مصنع من شركة(Appolo lASER , INC USA)،تم اعتماد مدى من الطاقات وصلت اعلى قيمة فيه الى 4.5 Joule مع اخذ معدل عدة قراءات عند كل قيمة من قيم الفولتية المسلطة (الطاقة الكهربائية الداخلة)، كما مبين في مخطط المعايرة المبين في الشكل (١) ، أما الشكل (٢) فانه يوضح مخطط معايرة طاقة ليزر ذو الطول الموجي (0.53μm) الناتج عن التولد التوافقي الثاني .



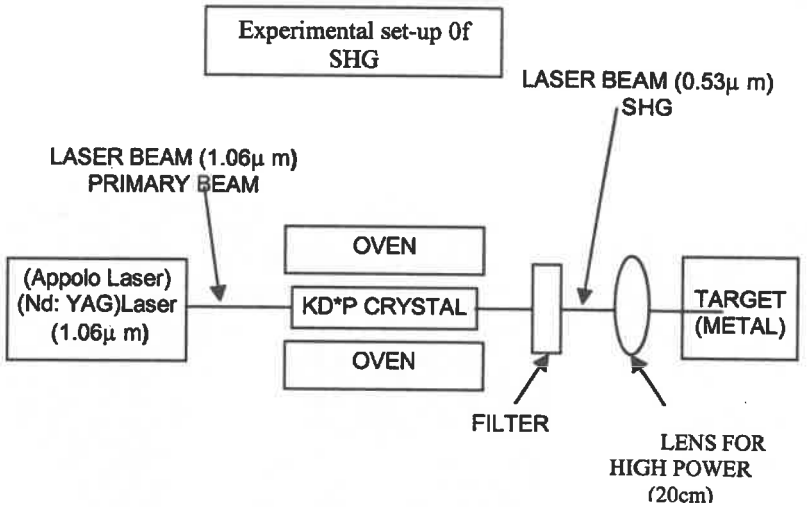
الشكل (١) يوضح مخطط المعايرة لمنظومة ليزر نيديوم – ياك التجريبي ذي الطول الموجي (1.06μ m) والمستخدم بين الطاقة الداخلة وطاقة الليزر الخارجة



الشكل (٢) يوضح مخطط المعايرة لمنظومة ليزر نيديميوم – ياك التجريبي والناتج عن التضاعف الترددي للطول الموجي (0.53 µ m) بوساطة بلورة (KD*P)

ب. البلـورة اللاخطيـة نـوع (KD*P) وهـي ثنـائي فوسـفات البوتاسـيوم ثنـائي الهـدروجين وصـيغتها(KD_2PO_4) وتسـمى أيضـا بفوسـفات البوتاسـيوم ثنـائي الـديتريوم (Potassium dideuterium phosphate) ، والحالة الثنائية تعني استبدال الكـثير مـن ذرات الهيـدروجين بـذرة ديتريوم ، توظف البلورة اللاخطية لتوليد طول مـوجي جديـد(0.53µm) في المنطقـة المرئيـة الخضـراء بتردد مضاعف ناتج عن تسليط شعاع ليزري طول موجته (1.06µm) في المنطقة تحت الحمراء القريبـة (NIR)علـى هـذه البلـورة ، يبلـغ طـول البلـورة اللاخطيـة المسـتخدمة (3.8cm) ذات عتبـة تلـف ($400MW/cm^2$) ، استخدمت عدسة ذات قدرة عالية بعدها البؤري (20cm) لبـؤرة شـعاع الليـزر ذي الطول الموجي (0.53µm) على العينه المراد تثقيبها ، تم تثبيت هذه العدسة بعـد المرشـح مباشـرة والذي يسمح فقط بمرور الطول الموجي الاخير ، كون الشعاع الذي يخرج من البلورة هـو خلـيط مـن الطولين الموجيين المذكورين أعلاه [9].

ج. الفـرن الحراري لقد تم بناء فرن حراري(OVEN) يحيط بالبلورة اللاخطيـه نـوع(KD*P) بحيـث يسمح للشعاع الليزري الأساس والتوافقي المتولد بالمرور من خلالـه وذلـك بعمـل فتحـتين في منطقـة مسار الشعاعين،تتراوح درجة حرارته بين°C (70 – 30) ، إن لدرجة حرارة البلورة اللاخطية دوراً مهماً جداً في الوصول الى حالة التطابق الطوري هـذا يعـني الوصـول الى أعلـى كفـاءة تحويـل للبلـورة وبالتالي الوصول الى أفضل كفاءة تحويلية للتولـد التـوافقي الثـاني ذي الطـول المـوجي (0.53µm) ، الشكل رقم (3) يوضح مخططا لتجربة البحث وكيفية توظيف الفرن الحراري حول البلورة اللاخطية .



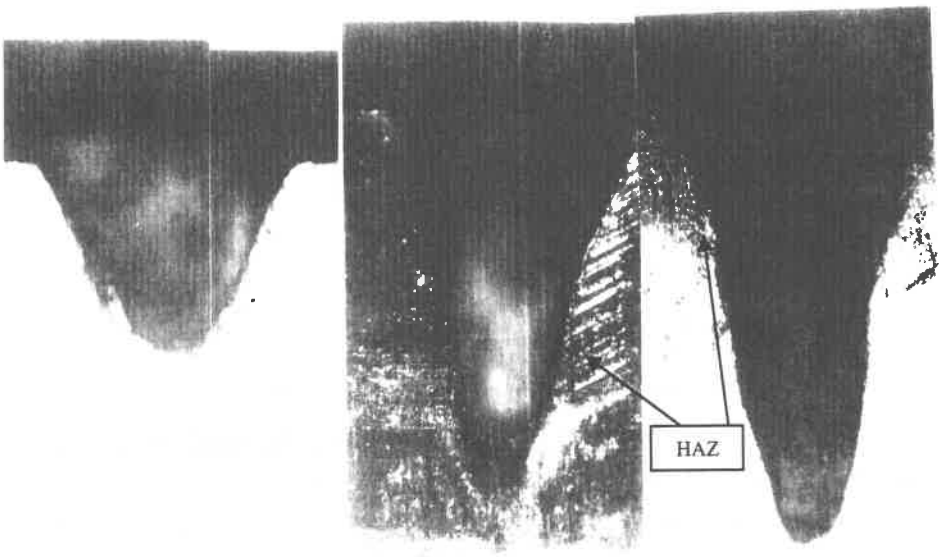
الشكل(3) مخطط لتجربة البحث وكيفية توظيف فرن حراري حول البلورة اللاخطية

٣. أسلوب تثقيب العينات Samples Hole Drilling Methode:

تم وضع العينة المراد تثقيبها وهي قطعة مربعة الشكل طول ضلعه 1cm من معدن الفولاذ المقاوم للصدأ(٣٠٤) وهو عبارة عن سبيكة مكونة من عدة معادن حيث يشكل الحديد الجزء الأكبر من مكوناته حيث يشكل(74-64.99%) يليه الكروم(18%)، النيكل (8%) ، المنغنيز(2%) ،السليكون(0.75%) ثم الكربون(0.08%) ومواد اخرى، لهذه السبيكة توصيلية حرارية تبلغ $16.8W/m\,C^{o}$ ودرجة انصهار $1539C^{o}$، تم وضع العينة بمسافة (20cm) عن العدسة، وتثبيتها بشكل محكم خشية حدوث أي اهتزاز نتيجة موجة الصدمة (Shock wave) بسبب عملية التثقيب ، بعد إجراء عملية التثقيب ولأكثر من ثقب للعينة الواحدة ، نجري عملية التنعيم (Grinding) ثم الصقل (Polishing) باستخدام معاجين خاصة لإظهار قطر وعمق الثقب بشكل واضح ، ثم عملية الإظهار (Etching) باستخدام محاليل خاصة ، بعد ذلك تم تصويرها باستخدام المجهر الضوئي .

٤. النتائج والمناقشة Results and Discussion :

لقد تبين بأن أفضل درجة حرارية يمكن من خلالها الوصول أعلى كفاءة تحويلية عند ذات الطاقات الليزرية هي C°(36) إذ تم الحصول على أعمق ثقب واكبر قطر مما هو عليه في الدرجتين الحراريتين C° (50, 70) كما يبين ذلك الشكلين (4, 5) ، يعزى ذلك الى اعتماد كفاءة التحويل اعتمادا كبيرا على درجة حرارة البلورة التي تعتبر اساسا لمعامل الانكسار عند حرارة التطابق الطوري ، حيث نستنتج هنا وعند الدرجة الحرارية C°(36) بان معامل انكسار البلورة



STAINLESS STTEL METAL304 (DEPTH IS .373mm AT 70 C)	STAINLESS STTEL METAL304 (DEPTH IS .622mm AT 50°C)	STAINLESS STTEL METAL304 (DEPTH IS .831mm AT 36 C)

الشكل(٤) يوضح العمق الحاصل لمعدن الفولاذ الصلب نوع ٣٠٤ بدرجات حرارية مختلفة للبلورة (KD*P) عند استخدام طاقة ليزر مقدارها ٣ جول

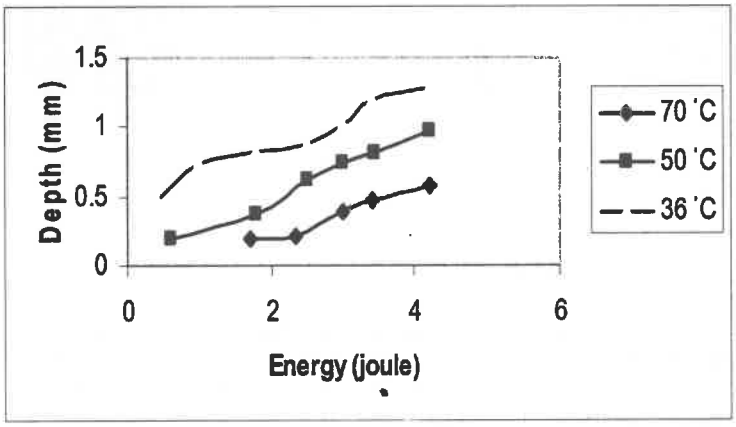
الشكل(٥) يوضح القطر الحاصل لمعدن الفولاذ الصلب نوع ٣٠٤ عند استخدام درجات حرارية مختلفة للبلورة(KD*P) عند استخدام طاقة ليزر مقدارها ٣ جول

الاعتيادي عند الطول الموجي الأساس أصبح مساوياً لمعامل انكسارها غير الاعتيادي عند الطول الموجي التوافقي أي ان معامل الانكسار هو نفسه لكلا الطولين الموجيين. وبذلك تجنبنا المشاكل المتعلقة بتطابق الطور وعمليات التشتت [3.7] .

بالإضافة إلى الكفاءة التحويلية العالية فان زيادة قطر الثقب لمعدن الفولاذ المقاوم للصدأ(٣٠٤) باستخدام الطول الموجي(0.53μm) يعزى الى زيادة قطر الشعاع الليزري بسبب انفراجيته الكبيرة وبالتالي زيادة تبؤر الحزمة الليزرية مؤديا الى زيادة في قطر الثقب [10] ،إن زيادة قطر الثقب ناتجة عن ظهور الأنماط المستعرضة ذات المراتب العليا بسبب القطر الكبير نوعا ما لقضيب الليزر المستخدم حيث تشغل هذه الأنماط حيزا اكبر

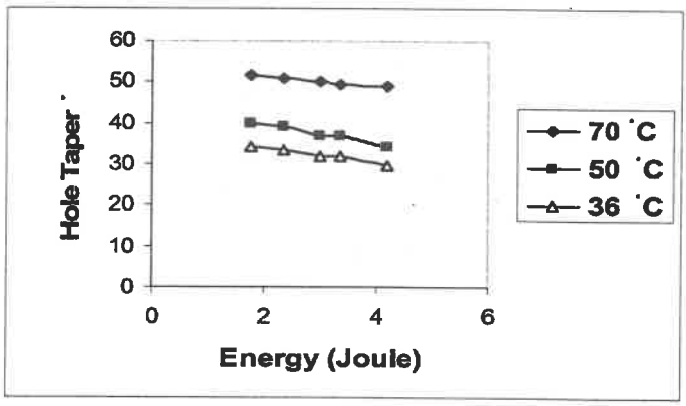
مما يشغله النمط TEM00 في الوسط الفعال وبالتالي تزداد مساحة التبؤر للأشعة المنعكسة على قطر الثقب[3]، أما زيادة عمق الثقب لهذا المعدن يعود الى زيادة كمية الطاقة الممتصة من قبل المعدن وبالتالي ارتفاع درجة حرارته التي بدورها تؤدي الى ارتفاع ضغط البخار المتولد مزيلا بذلك كمية من المواد المنصهرة مما لو كانت الطاقة الليزرية اقل، كما نلاحظ أن معدل زيادة عمق الثقب لا تتناسب خطيا ١٠٠ % مع طاقات الليزر العالية جدا ويعزى ذلك الى نقصان طاقة الليزر الممتصة من قبل المعدن بفعل الامتصاص الحاصل من قبل بخار المادة المتطايرة وتكون الوسط البلازمي وهذا بدوره ينعكس على نقصان في عمق الثقب[11].

أما الشكل (٦)يبين لنا مخططا لأكبر عمق عندما تكون درجة حرارة البلورة اللاخطية (KD*P) (36)C° ويبدأ العمق بالنقصان عند الدرجة الحرارية بين C°(50) وتتناقص أكثر عند الدرجة الحرارية C° (70) .



الشكل (٦) يوضح العمق الحاصل لمعدن الفولاذ الصلد (٣٠٤)
وبدرجات حرارية مختلفة للبلورة اللاخطية (KD*P)

أما بالنسبة لمخروطية الثقوب (Hole Taper) الناتجة فالشكل (٧) يوضح نقصان مخروطية الثقب عند كفاءة التحويل الأعلى أي بالدرجة الحرارية C°(36) وزيادتها بزيادة درجة الحرارة أي عندما تكون كفاءة التحويل اقل وذلك عند طاقات ليزرية متماثلة .



الشكل (٧) يوضح علاقة مخروطية الثقب لمعدن الفولاذ الصلد (٣٠٤) لطاقات ليزرية وبدرجات حرارية مختلفة بوساطة البلورة اللاخطية (KD*P)

٥. الاستنتاجات Conclusions :

لعبت درجة الحرارة للبلورة دوراً كبيراً في زيادة كفاءتها التحويلية حيث كانت أفضل درجة حرارة هي C° (36) بينما كانت اقل للدرجتين الحراريتين C° 50 ، C° 70 .

كذلك لوحظ إن أبعاد الثقب(القطر والعمق) والنسبة الباعية والمنطقة المتأثرة بالحرارة (HAZ) قد زادت بزيادة طاقة الليزر بينما قلت مخروطية الثقب بزيادة هذه الطاقة .

٦. المصادر References:

[1] John, E.Harry, „Industrial laser and their application), ''(1974).

[2] N. Rykalhn, A. Uglov,A. Kokora,„Laser welding of chining'',MIR,(1978).

[3] C.Breck.Hitz, „Understanding laser technology'',(1984).

[4] Sona, „Laser and their application'' ,(1976).

[5] Walter Koechner,„Solid-state laser engineering'',(1976).

[6] J.Ready, „Laser produced shocks and their relation to material damage'',IEEE,J.Quantum Electronic,Vol.QE-14,No.2,(1978).

[7] Amnon Yarive,„Optical electronics'',(1985).

[8] C.A.Massey and R.A.Elliott,„ Turnable infrared parametric generation in gesium dihydrogen arsenate''.IEEE,J.ofQ4,electronics December(1974).

[9] W.K.Hamoudi and Muhaned.R.I Al-Ani „, Drilling of Zinc metal using SHG of Nd-YAG laser '', Engineering and Technology Journal, University Of Technology , Baghdad , Iraq 23(1),(2004).

[10] W.W.Duley, "CO2 Laser Effect and Application'',Academic Press.(1976)

[11] W.K.Hamoudi B.G.Rasheed Int.J. For the joining of material, Vol.7 (2/3).P:63-69. (1995)