دراسة نظرية للتأثير الحراري للأشعة الليزرية على أنظمة مختلفة من زجاج السليكا

مؤيد عزيز حسن [*] غسان سالم عبد الله [**]
هيفاء علوان عبود [***] منى مهدي صالح [****]

تاريخ قبول النشر ٢٠٠٢/١١/٢١

الخلاصة

تم في هذا البحث دراسة نظرية باستخدام الأشعة الليزرية كمصدر حراري وما له من تأثير في العينات الزجاجية قيد البحث والتي شملت الزجاج البصري (Bk – 7) والزجاج العادي (Soda – lime). عند التشعيع بالليزر (Nd – glass, DF, CO_2). وعند الأطوال الموجية الآتية μm (1.06, 3.8, 10.6). وتم دراسة التأثيرات الحرارية المنتجة بالليزر نظرياً باستخدام العلاقة الرياضية ذات البعد الواحد كدالة للزمن والعمق T(z, t) حيث حسبت التغيرات في درجات الحرارة من هذه العلاقة (ΔT). أظهرت نتائج الدراسة بان تأثيرات التشعيع بالليزر (CO_2) تكون أعلى من تلك الناتجة من التشعيع بالليزر (DF). في حين ان التأثير يكون قليل جداً نتيجة التشعيع بالليزر (Nd – glass). وقد أظهرت النتائج عند شدة ليزرية لكلا النوعين بمقدار ($1.8*10^9$ w/m^2) يكون التغير في درجة الحرارة لايتجاوز (70^oK) بينما في ليزر (CO_2) فقد يصل إلى (1200^oK).

المقدمة

يعتبر إشعاع الليزر من أهم اكتشافات القرن العشرين وتأتي أهميتها لما لها من تطبيقات مهمة ومختلفة في كافة المجالات الصناعية والعلمية . ان ظهور الليزر أدى الى حدوث ثورة علمية وتكنولوجية شملت الصناعات التقليدية والحديثة إذ ساعدت على حدوث تطورات هائلة للعديد من العلوم في المجللات التطبيقية أصبحت ضمن منجزات العلوم الحديثة . وتمتاز أشعة الليزر بخواص لا تتوفر في مصدر ضوئي آخر وهي الشدة العالية والتشاكه واحادية الطول الموجي وقلة الانفراجية إذ ينقل الليزر في حزمة ضيقة جداً ولمسافات طويلة لهذا كان لاستخدامات الليزر إنجاز كبير ومهم في العمليات التطبيقية الصناعية مثل معاملة المواد بالليزر [1]. ومن هذه المواد هي المواد الزجاجية والسيراميكية حيث أثبتت هذه الطريقة فعاليتها في عملية التثقيب والحفر والقص لهذه المواد والاستعاضة عن الطريقة الميكانيكية وقد قامت العديد من الدراسات [2]. حول تركيب وتكوين الثقوب في سيراميك الالومينا وقد أثبتت هذه الدراسة خلو منطقة الثقوب من العيوب والتشققات والتي قد تظهر قرب الحافات باستخدام

[*] دكتوراه – أستاذ مساعد – الجامعة التكنلوجية
[**] دكتوراه –أستاذ مساعد– قسم الفيزياء– كلية العلوم للبنات– جامعة بغداد
[***] دكتوراه –مدرس –قسم الفيزياء– كلية العلوم للبنات– جامعة بغداد
[****] ماجستير –مدرس مساعد– قسم الفيزياء– كلية العلوم للبنات– جامعة بغداد

الطرق الأخرى. وعندما يجري الحديث عن معالجة المواد بالليزر فانه يقصد به مقدرة الإشعاع الليزري على إحداث تسخين موضعي سريع في المادة او صهرها او تبخرها. وقد فسرت هذه المعالجات بتجزئة المادة الهشة بالليزر وفقاً لنظام الانقسام الحراري على انها عملية تكمن في تسخين العينة بواسطة إشعاع الليزر مما يؤدي الى ظهور اجهادات كبيرة سببها وجود تدرج كبير في درجات الحرارة في هذه العينة [3]. كما قدمت أيضاً نماذج رياضية ترسم المجالات الحرارية عندما يؤثر في سطح جسم ما تيار حراري مركز او موزع [4]. هذه الدراسة سوف تشمل على بناء نموذج رياضي يتناول حساب تغيرات درجات الحرارة عند التسخين بواسطة مصدر سطحي (الحزمة الحرارية احادية البعد). (Heating by a surface source) : ويمكن عد المصدر الحراري سطحيا اذا استخدمت مواد تتمتع بمعامل امتصاص عالي القيم. ولتوضيح مفهوم التوزيع الحراري كنتيجة مباشرة لتأثير الإشعاع الليزري استخدمت المعادلات الرياضية الآتية [6,5].

$$T(z,t)=\frac{2H(at)^{1/2}}{k}\,ierfc\left[\frac{Z}{2(at)^{1/2}}\right] \quad ---(1)$$

$$T(0,t)=\frac{2H}{k}\left(\frac{at}{\pi}\right)^{1/2} \quad ---------- \quad (2)$$

حيث ان

T(z,t) : تمثل درجة الحرارة كدالة الى الزمن والعمق

Z: تمثل العمق ، a : الانتشارية الحرارية

H : تمثل كثافة القدرة الممتصة

t : زمن التسخين

ierfc : دالة تكامل الخطأ

k : تمثل التوصيلية الحرارة

حيث تشير المعادلة (1) حساب درجات الحرارة كدالة للزمن عند التسخين نتيجة تأثير الإشعاع الليزري ، ويمكن إيجاد درجة الحرارة في سطح المادة باستخدام المعادلة (2).

$$\Delta T(z,t)_{t\rangle t_p}=\frac{2Ha^{1/2}}{k}\left\{\begin{array}{l} t^{1/2}\,ierfc\left[\dfrac{Z}{2(at)^{1/2}}\right]-\left(t-t_p\right) \\ {}^{1/2}\,ierfc\left[\dfrac{Z}{2\sqrt{a\left(t-t_p\right)}}\right] \end{array}\right\} \quad ---------(3)$$

حيث

tp : أمد النبضة

وبهذه المعادلة يمكن حساب درجات الحرارة كدالة للزمن عند زوال التأثير الحراري حيث ان $\Delta T(z,t)$ تمثل التغير في درجة الحرارة كدالة الزمن t والعمق z .

$$\Delta T(Z,t)_{t\rangle t_p}=\Delta T(Z,t)-\Delta T\left[Z,\left(t-t_p\right)\right] \quad --$$

---------- (4)

حيث تشير المعادلة (3) حساب درجات الحرارة كدالة للزمن عند زوال التأثير الحراري. وباستخدام المعادلات (1) و(٢)و (3) وضمن الشروط الخاصة بمعلمات المادة والمتمثلة بالتوصيلية والامتصاصية والانعكاسية. والمعلمات الخاصة بالليزر وتتمثل بالطول الموجي والقدرة [8,7]. وبذا يمكن حساب التغيرات في درجات الحرارة عند السطح والأعماق للنماذج المستخدمة من الزجاج BK–7 ،وزجاج الصودا لايم Soda - lime].

الحسابات

تم حساب تغيرات درجات الحرارة كدالة للزمن والعمق ببناء نموذج رياضي يتناول حساب درجات الحرارة باستخدام المعادلة (1) كدالة للزمن او (2) و٣() وضمن الشروط الخاصة بمعلمات المادة (الإجهاد ، معامل التمدد الحواري ، التوصيلية الحرارية ، الانتشارية) والمعلمات الخاصة بالليزر (كثافة القدرة ، زمن النبضة) [8,7]. كما تم استخدام النموذج الرياضي لحساب تغيرات درجات الحرارة (ΔT) للزجاج البصوي (Bk – 7) والزجاج العادي صودا لايم (Soda – lime). عند التشعيع بالليزر (DF, Nd - glass، ، CO_2). DF فلوريد الديتريوم ، وعند الأطوال الموجية الآتية :- (1.06, 3.8, 10.6)μm وبكثافة قدرة ($1.8*10^9$ w/m^2) وبزمن نبضة (tp) لا يزيد عن (1μm). حيث حسبت تغيرات درجات الحرارة عند السطح والأعماق. وباستخدام المعادلات (1) (2) (3).

النتائج والمناقشة

من دراسة التأثير الحراري باستخدام العلاقة الرياضية ذات البعد الواحد كدالة للزمن والعمق T(z,t) حيث حسبت درجات الحرارة من

العلاقة (1) والتي تعتمد على العوامل المذكورة الآتية (التوصيلية الحرارية ، الانتشارية الحرارية ، معامل التمدد الحراري) ولوحظ ان لاختلاف الأطوال الموجية لليزر المستخدم تأثيراً على درجات الحرارة. حيث انه يتحدد بمقدار ما تمتصه المادة من حرارة وكما مبين في الأشكال (2,1). ويعزى ذلك الى الاختلاف في ما تمتصه المادة للإشعاع. حيث تختلف المواد في قابلية امتصاصها للأشعة الا ان معظم المواد غير المعدنية ومنها (الزجاج) لها امتصاص عالٍ للأشعة تحت الحمراء (IR) عندما يكون الإشعاع الليزري له طول موجة $\lambda \geq 2.5\ \mu m$ لذلك فالامتصاص لاشعاع الليزر يظهر الامتصاص لليزر (CO_2) وليزر (DF). تظهر على شكل حرارة عالية بينما عند ليزر (Nd – glass) ترتفع درجة الحرارة بكميات قليلة وذلك بسبب كبر شفافية الزجاج لهذا الليزر [2] ،وقلة امتصاصيته لهذا الطول الموجي. وبما ان الإشعاع الليزري يحدث له امتصاص سطحي في الزجاج لذلك تبدو درجات الحرارة عند السطح بقيم عالية وتتناقص مع زيادة الأعماق. يمكن تفسير الاختلاف في درجات الحرارة بين المواد على أساس الاختلاف معلمات المادة فالمواد التي لها انتشارية حرارية عالية يكون لها ارتفاع صغير في درجات الحرارة عند السطح نتيجة امتصاص طاقة النبضة واختراقها كضوء داخل المادة [2] وكما مبين في الأشكال (4, 3).للزجاج العادي (١،٢)للزجاج البصري حيث انه يكون الامتصاص اكبر للزجاج البصري . كما يتضح من الأشكال (4, 3, 2, 1,) تأثير درجات الحوارة عند السطح والأعماق للزجاج البصري – (Bk 7) والزجاج العادي (Soda lime). حيث ان اعظم امتصاص للطاقة يظهر عند السطح ويتناقص داخل المادة اذ يمتص معظم طاقة الإشعاع على مسافة مقدارها nm(50 – 5) من السطح حسب العلاقة ($\delta=\frac{1}{\alpha}$) وهذا يعني ان معظم الطاقة الساقطة يتم امتصاصها على عمق صغير من سطح المادة عن طريق التوصيل الحراري ولان الزجاج موصل رديء للحرارة لذلك فان الانتشارية الحرارية تكون قليلة فتزداد درجة الحرارة عند السطح وصولا الى درجة التليين (softtening tempereture).[2] اما تأثير الطاقة على درجات الحرارة حيث يظهر أيضاً تأثير كبير على درجات الحرارة إذ ان زيادة الطاقة تؤدي الى زيادة كمية الحرارة الممتصة من قبل المادة وبالتالي ارتفاع درجة حرارتها في فترات زمنية قصيرة جداً (معتمدة على زمن النبضة) الى ان يبلغ قيمة عظمى ومن ثم يهبط مع هبوط القدرة الليزرية وكما مبين في الأشكال (6,5) الذي يوضح تغيراً في درجات الحرارة عند الزجاج البصري (Bk – 7) والزجاج العادي (Soda lime). اما العلاقة بين درجات الحرارة ونصف قطر حزمة الشعاع الليزري فيمكن توضيحها في الأشكال (8,7) حيث تبين ان اعظم شدة يمكن الحصول عليها من الليزر عند مركز الحزمة أي عندما تقترب قيمة (R) حيث تمثل Rنصف قطر مقطع الليزرمن الصفر حيث يتناسب مقدار الطاقة الممتصة عكسياً مع مساحة المقطع البؤري للحزمة الليزرية أي مربع نصف قطرها البؤري وبذلك تزداد درجات الحرارة بتقليل نصف القطر البؤري.لايصل عمق الأختراق أكثر من 50 nm للأشعه اليزريه

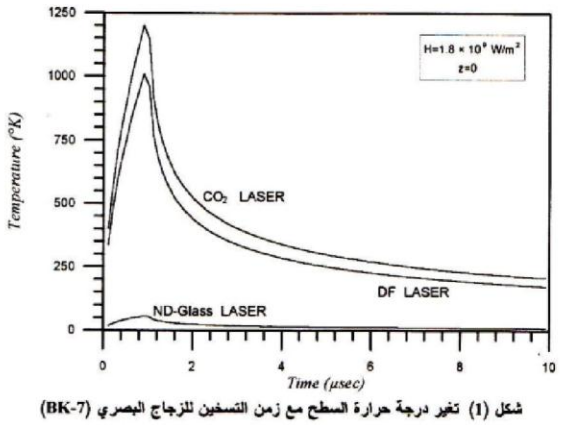
الاستنتاجات

١- لقد تبين من خلال دراسة التأثير الحراري الناتج من أشعة الليزر (CO_2 ، DF، Nd – glass) في الزجاج البصري (Bk – 7) قيد البحث لوحظ بان درجة حرارة السطح العظمى عند التشعيع بالليزر (CO_2) تكون أعلى من تلك الناتجة من التشعيع بالليزر (DF). في حين يكون التأثير قليل جداً نتيجة التشعيع بالليزر (Nd – glass).

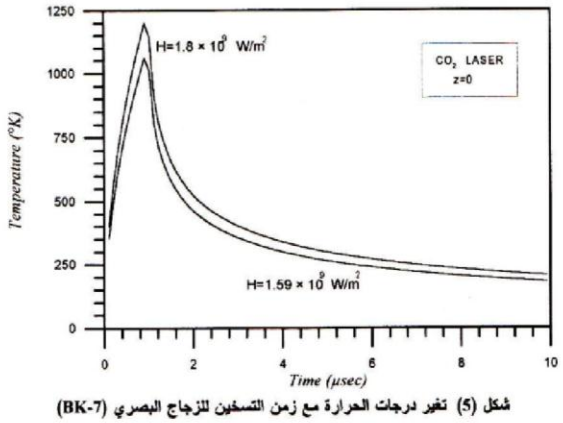
٢- من خلال دراسة التأثير الحراري الناتج من أشعة الليزر (CO_2، DF، Nd – glass)

يلاحظ بان للتغير في درجات الحرارة عند السطح أعلى من تلك الناتجة عند الأعماق حيث بلغت درجة حرارة السطح عند ليرز (1200^oK) CO_2 في زجاج(Bk – 7) و(1000^oK) في ليزر DF اما في ليزر– Nd glassفقد بلغت (70^oK) اما الزجاج العادي فقد بلغت ($50,950,1150^oK$) اما فيما يخص درجة حرارة الاعماق فقد بلغت في زجاج– Bk) (7 عند معاملته بالليزر (CO_2، DF، Nd –) ($35,940,1140^oK$ glass) على التوالي وقد بلغت للزجاج العادي ($30,900,1135^oK$) على التوالي.

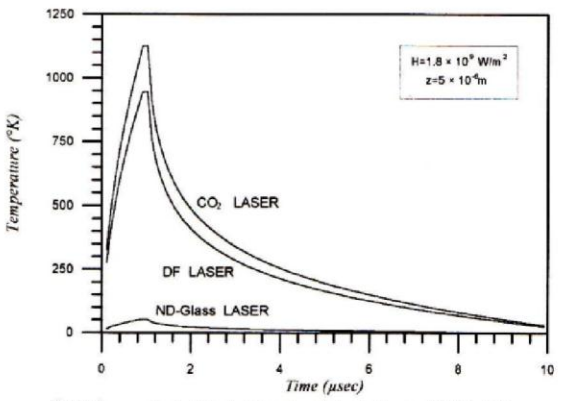
٣- درجات الحرارة عند الزجاج البصوي Bk) (7 – تكون أعلى من الزجاج العادي Soda) (lime وذلك بسبب معلمات المادة (الامتصاصية ، الانعكاسية ، التوصيلية الحرارية).



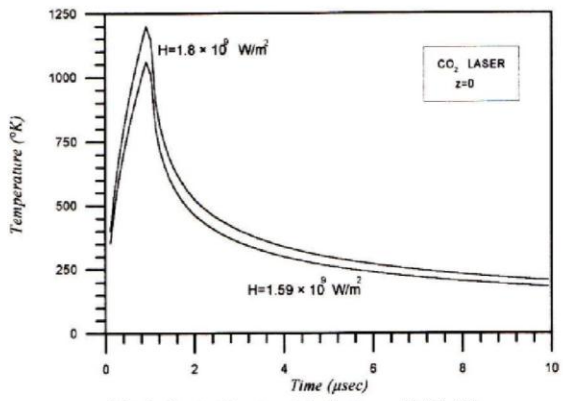
شكل (1) تغير درجة حرارة السطح مع زمن التسخين للزجاج البصري (BK-7)



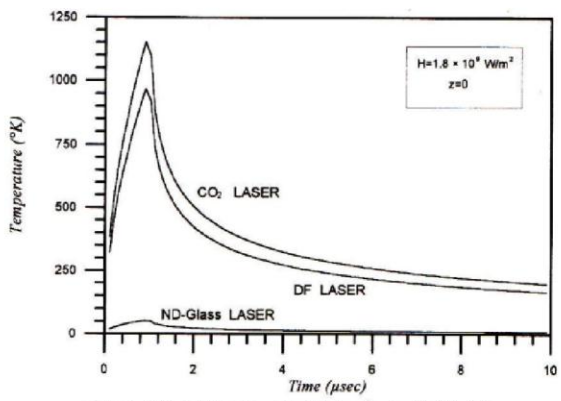
شكل (5) تغير درجات الحرارة مع زمن التسخين للزجاج البصري (BK-7)



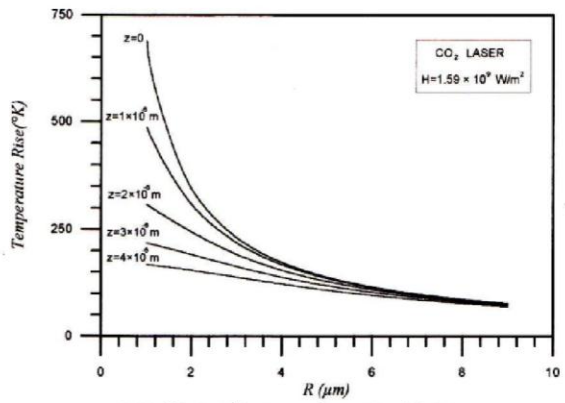
شكل (2) تغير درجات الحرارة مع زمن التسخين للزجاج البصري (BK-7)



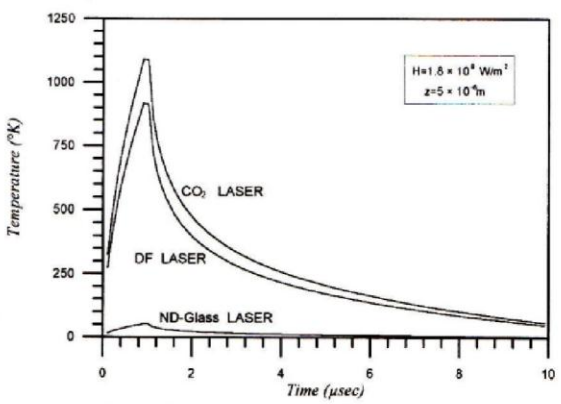
شكل (6) تغير درجات الحرارة مع زمن التسخين للزجاج العادي



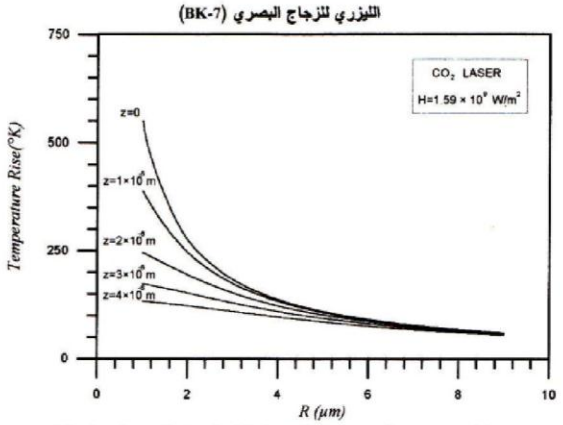
شكل (3) تغير درجة حرارة السطح مع زمن التسخين للزجاج العادي



شكل (7) ارتفاع درجة الحرارة كدالة لنصف قطر الشعاع الليزري للزجاج البصري (BK-7)



شكل (4) تغير درجات الحرارة مع زمن التسخين للزجاج العادي



شكل (8) ارتفاع درجة الحرارة كدالة لنصف قطر الشعاع الليزري للزجاج العادي

References

1- William M.Steen ,(Laser Material Processing) spring verlag ,London 1998.

٢-غريفوربـــانتش، ١.غ وســـافونوف، "معالجـــة المواد غير المعدنية بالليزر "ترجمة محمد غـــانم، المركـــز العربـــي للتعريـــب، دمشـــق ١٩٩٣.

3- Duley ,w.w ,"CO_2 Laser ,Effect and Application", Academic Press, London 1976.

4- M.Lax ,"Temperature Rise Induced by a Laser Beam", J.Appl .Phys, vol.(48), No(9), 1977, pp(3919 – 3924).

5- J.Wilson ,"Laser Principles and Application", Prentice Hal, U.K. 1987.

6- James.T.Luxon ,"Indusrtrial Laser and their Application", second edition Prentice Hal, U.K., 1992.

7- Janos Optical Material Selection Guide, Janos Technology, Inc, 1999.

٨-فرانك.ب. انكروبـــيرا وديفيـــد.ب. دووت "اسس انتقـــال الحـــرارة" ترجمـــة د.صـــالح اسماعيل نعيم، فائق عبد الوهاب احمد، مأمون فائز الأطرقجي، دار الكتب للطباعة والنشـــر ١٩٨٦).

Theoretical Study of The Heating Effect of Laser Radiations on SilicaGlass Systems

Dr.Muayad Aziz Hasan * **Dr.Ghassan Salim Abdella ****
Dr.Hayfaa Alwan Abood ** **Mona Mahdi Shail ****

***University of Technology**
****Physics Dept. - College of Science for women – Baghdad University**

Abstract

A theoretical study has been proposed to investigate the effects of different laser radiations (Nd – glass, DF and CO_2) as a heating source on different glass samples (Optical glass, Bk – 7 and Soda - lime glass) and different waves lengths (10.6, 3.8, 1.06) μm. The heat changes as which are resulted due irradiation with laser sources have been determined by using the one dimension mathematical relation as a function of time (t) and depth (z). The results of the study showed that the irradiation with CO_2 laser had a greater effect than DF laser, while the effects of Nd – glass laser were minimal with a power density of ($1.8*10^9$ w/m^2) within a time (1μsec).(For both Kinds) The change in the temperatures were not exceeded than (70^oK) in all samples while in CO_2 laser could be exceeded than (1200^oK) in the same conditions.