

شكل (2) صورة للمنظومة المصنعة والمستخدمه في هذا البحث

جرى تقويم هذه المقالة من قبل مقومين في كلية العلوم / جامعة بغداد ووحدة أبحاث الليزر / الجامعة التكنولوجية ، بغداد ، العراق

EFFECT OF ACTIVE MEDIUM TEMPERATURE ON THE OUTPUT CHARACTERISTICS OF PULSED FREE-RUNNING DYE LASER

In this work, the effect of active medium temperature on output characteristics of a pulsed dye laser was studied. Two dyes, R6G and RB, were used as laser active medium. Under free-running operation, 35mJ maximum output energy and 100 μ s pulse duration were obtained with presence of oxygen as a quencher. Results presented in this work showed that output characteristics such as laser pulse energy, emission linewidth, beam divergence and overall efficiency are reasonably affected by temperature. Optimum values of such features require system to operate at temperature of 10°C, which represents the optimum operating temperature. These results may benefit to determine the optimum operating temperature of a pulsed dye laser due to system design considerations.

من تحديد القيمة المثلى لدرجة الحرارة يمكن حساب عرض الخط الطيفي لشعاع الليزر الخارج باستخدام العلاقة الآتية [11]:

$$\Delta\lambda = \frac{\Delta\nu \cdot \lambda^2}{c} \quad (3)$$

حيث $\Delta\nu$ تمثل عرض خط الانبعاث الترددي الذي تم حسابه عمليا، λ الطول الموجي لشعاع الليزر المنبعث c سرعة الضوء في الفراغ، حيث $\Delta\lambda = 0.36\mu\text{m}$ ، وهذه القيمة يمكن مقارنتها بالقيمة النظرية التي تم حسابها من العلاقة الآتية:

$$\Delta\lambda = \frac{c}{\Delta\nu} = 0.6\mu\text{m} \quad (4)$$

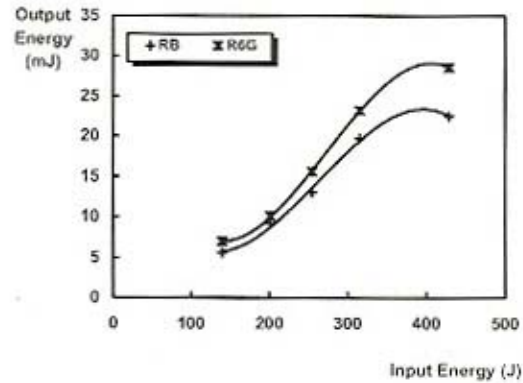
تختلف المعادلتان الأخيرتان أعلاه عن بعضهما في أن المعادلة (3) تعتمد على القيمة المحسوبة عمليا لعرض خط الانبعاث، فيما يتم حساب عرض الخط الطيفي لليزر المنبعث في المعادلة (4) نظريا فقط. تمثل النتيجة تقريبا ما بين القيمتين النظرية والعملية وإن مقدار الانحراف عائد إلى ظروف تشغيل المنظومة إذ أن ازدياد درجة حرارة الوسط الفعال والخسائر الناجمة عن الامتصاص والخسائر الناجمة عن تكون المستويات الثلاثية كلها أسباب لتعريض خط الفلورة (Fluorescence Bandwidth).

٤-١- الدراسات السابقة

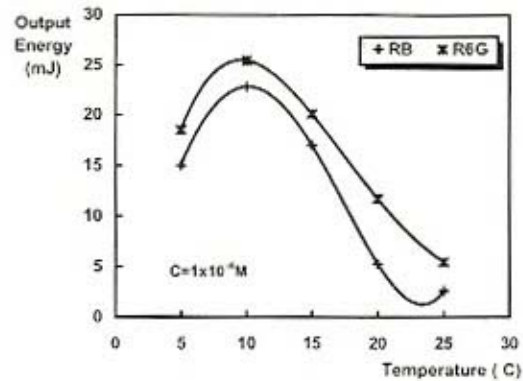
من خلال النتائج المستحصلة في هذا البحث، يمكن استنتاج أن عرض الخط الطيفي لليزر الصبغة يتأثر بشكل كبير بتغير درجة حرارة الوسط الفعال إذ يتم تضيق عرض الخط من خلال زيادة معدل تبريد الوسط الفعال. عند تشغيل منظومة الليزر، هنالك درجة حرارة مثلى يتم الحصول عندها على أقصى طاقة لشعاع الليزر الخارج والتي بلغت (25mJ) في حالة استخدام صبغة R6G و (23mJ) في حالة استخدام صبغة RB. إن إمكانية التحكم الدقيق بدرجة حرارة الوسط الفعال تعطي فرصا أفضل لبلوغ ظروف التشغيل المثلى.

المراجع

- [1] F. Schaffer, "Dye Lasers", Springer-Verlag (Berlin) (1977), 1.
- [2] G. Schappert, K. Billman and D. Burnham, *Appl. Phys. Lett.* 13(4), 124-126 (1968).
- [3] D. McCumber, *Phys. Rev.*, 134, A299 (1964).
- [4] F. Schaffer, W. Schmidt, and J. Volze, *Appl. Phys. Lett.* 9(8), 306 (1966).
- [5] L. Godfrey, W. Egbert and R. Meltjer, *Optics Commun.* 34(1), 108 (1980).
- [6] M. Rahn, T. King and A. Gorman, *Appl. Opt.*, 36(24), 5863 (1997).
- [7] M. Mark D. Rahn and T. King, *Appl. Opt.*, 38(30), 6337 (1999).
- [8] K. H. Drexhage, "Structure and properties of laser dyes in dye lasers", in *Dye Lasers* edited by Schaffer FP, 2nd ed. Springer-Verlag (Berlin) (1977), 168.
- [9] S. Lavi et al., *Appl. Opt.* 24(13), 1905 (1985).
- [10] T. S. Pavlopoulos and D. J. Golich, *J. Appl. Phys.* 64(2), 521 (1988).
- [11] R. Khare and S. Daulatabad, *Opt. Laser Technol.* 36, 27-30 (2004).

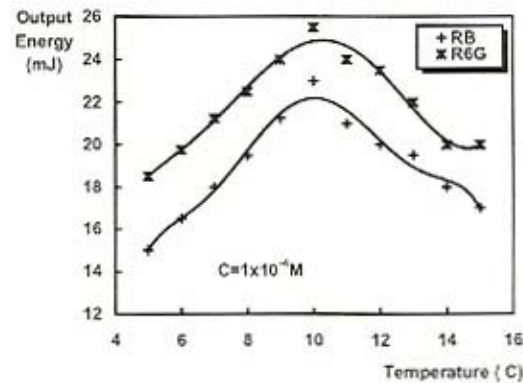


شكل (4) علاقة طاقة الليزر الخارجة بالطاقة الداخلة



شكل (5) علاقة طاقة الليزر الخارجة بدرجة حرارة الوسط الفعال لمدى (5-25)°C

ولغرض الاقتراب أكثر من درجة الحرارة المثلى للتشغيل، جرى قياس طاقة الخرج الليزري كدالة لدرجة الحرارة لمدى أضيق من المدى السابق في الشكل (5) وكما مبين في الشكل (6). يؤكد الشكل أن القيمة المثلى تكون 10°C إذ تم الحصول عند هذه القيمة لدرجة الحرارة على أقصى طاقة خرج ليزري (27mJ) من صبغة R6G و (23mJ) من صبغة RB.

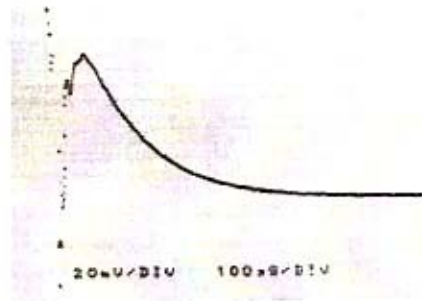


شكل (6) علاقة طاقة الليزر الخارجة بدرجة حرارة الوسط الفعال لمدى (5-15)°C

(Diode) الذي يستعمل فولتية عالية، يكون قيمة متسعة الخزن الرئيسية ($70\mu F, 20kV$) ويمكن التحكم بفولتية جهاز القدرة باستخدام مغير (Variac). تضمنت أجهزة القياس المستخدمة مقياس الطاقة نوع (COHERENT) وكاشف ضوئي في المنطقة المرئية نوع (SpectraPhysics PD) وقد تم تسجيل نبضة الليزر الخارجة باستخدام جهاز مشاهد نوع (IWATSU 500MHz).

٣- النتائج والمناقشة

جرى تشغيل المنظومة بمنظومة التشغيل الحر (Free Running)، وبتجاوز طاقة الضخ للمصباح الوميضي لحد العتبية للانبعاث المحفز لوسط الصبغة تم الحصول على طاقة خرج ليزري قصوى بلغت ($20mJ$) وكما مبين في الشكل (4)، إذ يلاحظ أن العلاقة ما بين طاقة الخرج الليزري والطاقة الداخلة تكون خطية تقريباً ولمدى معين (لغاية $23mJ$ في حالة صبغة R6G و $19mJ$ في حالة صبغة RB)، وهذا سلوك طبيعي لأي وسط محمول للطاقة إذ أن زيادة طاقة الضخ المجهزة للوسط الفعال تعمل على زيادة عدد الجزيئات المثيجة إلى المستويات الأحادية (Singlet) والتي تكون مسؤولة عن الانبعاث المحفز. ولطاقات ضخ أعلى تصل طاقة الخرج الليزري إلى حالة التسبع إذ لا يمكن إثارة عدد أكبر من جزيئات الوسط.



شكل (3) نبضة الليزر الخارجة والمستحصلة في هذا البحث

بعد ذلك تنخفض طاقة الخرج لأن الزيادة في طاقة الضخ تتحول إلى طاقة حرارية تتبدد داخل الوسط الفعال (الصبغة) وتساهم في تقليل عدد الجزيئات المساعدة في الفعل الليزري عن طريق انتقالها إلى المستويات الثلاثية عبر عملية العبور البيني (Intersystem Crossing) والتي تعمل على إخماد الفعل الليزري.

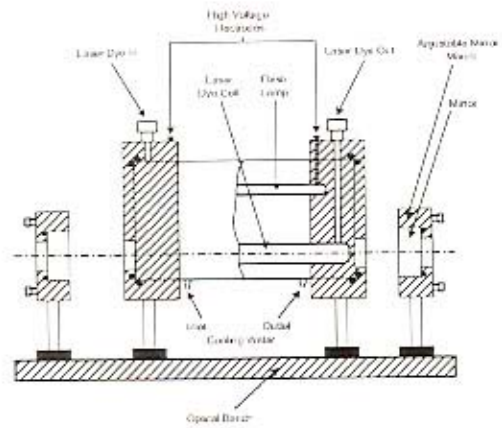
ولدراسة تأثير درجة حرارة الوسط الفعال على كفاءة الخرج الليزري جرى تغيير درجة محلول الصبغة وقياس طاقة نبضة الليزر، وتم ذلك بزيادة درجة حرارة سبرد الصبغة بشكل منتظم وكما في الشكل (5). إن زيادة درجة الحرارة يؤدي إلى امتلاء مستويات الطاقة للحالة المثيجة الأحادية الاهتزازية والدورانية العليا، وهذا يؤدي إلى تقليل عدد الجزيئات المساعدة في عملية الفلورة، ويحدث العكس عند انخفاض درجة الحرارة إذ يقل معدل التصلبات الماصة للفلورة وهذا يؤدي إلى تطبيق عرض خط الانبعاث الليزري. بلغت أقصى كفاءة للمنظومة 0.02% في حالة صبغة R6G و 0.016% في حالة صبغة RB وقد لوحظ أن درجة الحرارة المثلى لتشغيل المنظومة عند أقصى كفاءة للمنظومة كانت حوالي $10^{\circ}C$ ومن ثم تبدأ الطاقة الخارجة بالتناقص عند زيادة درجة الحرارة.

إن الخسارة الناتجة عن الانتقال غير الإشعاعي ما بين المستويات أو الحالات الطاقية الأحادية (Singlet Energy States)، والذي يدعى التحول الداخلي (Internal Conversion)، قد تتغير أيضاً مع درجة الحرارة للوسط الليزري، وتبعاً لذلك فإن الكفاءة الكمية للتفلور (Quantum Efficiency) تتغير تبعاً لذلك.

يمثل التأثير الثاني لدرجة الحرارة بالحد الأول للمعادلة (2) وبما أن $N_{22} > N_{21}$ في الظروف الاعتيادية (درجة حرارة الغرفة)، فإنه يجب أن تكون مساحة المقطع العرضي للانبعاث أكبر منها للاتصاص ($\sigma_{22} < \sigma_{21}$) لكي تكون قيمة الربح موجبة. ومع تناقص درجة الحرارة فإن الحد الثاني من المعادلة (2) الذي يمثل الامتصاص، يتناقص أيضاً وهذا يتيح لشرط بدء الفعل الليزري أن يتحقق عند أو قرب منطقة قمة الطيف [6-7].

٣- (المحرك العنصري)

جرى بناء منظومة ليزر الصبغة النبضي وتألفت من الجزء البصري والجزء الكهربائي والجزء الميكانيكي. الوسط الفعال هو عبارة عن محلول الصبغة العضوية (R6G, RB) بتركيز ($1 \times 10^{-4} M$) في خلية من الكوارتز قطرها (6mm) وطولها (17.5cm). وقد استخدم المصباح الوميضي الحلزوني (Helical) المملوء بغاز الزينون بضغط (450 Torr) ويتم تثبيته بحيث يحيط بالخلية الحاوية على الصبغة باستخدام حوامل من البيرسبيكس تثبت داخل العاكس الأسطواني والمصنوع من البراص المطلي بالذهب بطول (12cm) وقطر (8cm)، المرنان البصري إذ كانت المرآة الخلفية مقعرة (Hemispherical) بنصف قطر تكور (20cm) وذات انعكاسية تامة للأطوال الموجية (430-680nm) ومطوية بمادة نترات الفضة، فيما كانت المرآة الأمامية مستوية (Plane) ومصنوعة من زجاج الكوارتز وقد بلغت اعظم انعكاسية لها حوالي (87%) للطول الموجي (590nm). المسافة الفاصلة بين المرآتين مقدارها (30cm). والشكل (1) يمثل مخططاً للمنظومة المصنوعة والمستخدم في هذا البحث والشكل (2) يمثل صورة فوتوغرافية لتجميع المنظومة والشكل (3) يبين نبضة الليزر الخارجة والمسجلة على المشاهد.



شكل (1) مخطط للمنظومة المصنوعة والمستخدم في هذا البحث

يتكون جهاز القدرة الكهربائية من محولة رافعة للفولتية (1:7.27) تجهز فولتية خارجية مقدارها (1.6kV) بتيار (0.1A)، ومضاعف للفولتية يتألف من متسعة ($2\mu F, 10kV$) ومجموعتين من ثنائي الوصلة

تأثير درجة حرارة الوسط الفعال على خصائص الخرج لليزر الصبغة النبضي بالتشغيل الحر

محمد عبد الكريم أحمد

قسم هندسة الزجاج والسيراميك
الكلية التقنية
بغداد، العراق

في هذا البحث، جرى دراسة تأثير درجة حرارة الوسط الليزري الفعال على خصائص الخرج لمنظومة ليزر الصبغة (Dye Laser) النبضي. جرى استخدام منظومة ليزر صبغة R6G و RB تعمل بطاقة خرج قصوى (35mJ) وأمد نبضة خارجة (100μs) بالتشغيل الحر وبوجود الأوكسجين كعامل كبح (Quencher). أوضحت النتائج المقدمة في هذا البحث أن خصائص الخرج مثل طاقة النبضة الخارجة وعرض الخط الطيفي للانبعاث وانفراجية الحزمة والكفاءة الكلية للمنظومة تتأثر بشكل ملحوظ بدرجة الحرارة، وإن الحصول على أفضل قيم لهذه المعاملات يتطلب العمل عند درجة حرارة بحدود (10°C). يمكن الاستفادة من النتائج المقدمة في هذا البحث لغرض تحديد القيمة المثلى لدرجة حرارة تشغيل منظومة ليزر الصبغة النبضي وفق معاملات تصميم المنظومة.

Keywords: Rhodamine Dye Laser, Pulsed Laser, Active Medium Temperature, Line Tuning

استلام: ٢٤ حزيران ٢٠٠٤، تصحيحات: ١٥ تموز ٢٠٠٤، قبول: ١٨ أيلول ٢٠٠٤

حيث تمثل $I(f)$ شدة الفلورة لمحلول الصبغة بوحدات الفوتون لكل فترة تردد لكل زاوية صلدة ولكل جزيئة تساهم في الانبعاث، وتمثل h معامل انكسار محلول الصبغة، $hc\sigma_e$ هو صافي الطاقة اللازمة لإثارة جزيئة صبغة واحدة. ويتحليل المعادلة (2)، وفي حالة الوصول إلى حد العتبة فمن المتوقع حدوث زيادة ملحوظة في قيمة f_L مع مجموع خسائر الفجوة الليزرية (L) فسيما يحدث تناقص في قيمة f_L مع تركيز محلول الصبغة أي $(N_{gr} = N_{ex} + N_{sp})$ ، ومن المتوقع تبعاً لذلك أن يتغير التردد عند بدء الفعل الليزري مع تغير درجة الحرارة [5-7]. وعليه، فإن طيف الفلورة يضيق مع تناقص الحرارة ولكن بدون وجود إزاحة ملحوظة في موقع قمته.

إن طيف الامتصاص والانبعاث يعتمد على توزيع الاستيطان في الحالة الإلكترونية الابتدائية، لذلك فإن الريح يعتمد على درجة الحرارة على الرغم من عدم وجود حد يمثل درجة الحرارة في معادلة الريح. عند نقصان درجة الحرارة فإن عرض طيف الامتصاص والانبعاث يضيق ويقل مقدار السداخل بينهما مما يسبب إزاحة تردد الليزر نحو قمة طيف الفلورة. وبما أن الفعل الليزري يحدث عند الأطوال الموجية الطويلة وبعيداً عن قمة طيف الفلورة [5]، ولذلك فإن هذا الفعل سيحدث بطول موجي أقصر. عند تضيق الطيف بفعل الانخفاض في درجة الحرارة في حالة التراكيز العالية فإن الامتصاص الشديد للوسط الفعال يعمل على إزاحة الطول الموجي لشعاع الليزر المنبعث بعيداً عن القمة. كما يمكن ملاحظة أن تضيق طيف الفلورة لا يكون كافياً لوحده على توضيح الإزاحة الكلية مع تغير درجة الحرارة وخصوصاً عند التراكيز العالية [8-11].

١-المقدمة

من المعروف أن الصبغات الليزرية المستخدمة في منظومات ليزر الصبغة تضم العديد من مستويات الطاقة الإلكترونية والاهتزازية [1-3]، إذ يتكون كل مستوى إلكتروني من مجموعة من المستويات الاهتزازية المنفصلة في حالة الاتزان الحراري، لأن زمن الاسترخاء لهذه المستويات أقصر بكثير من زمن الفلورة للمستويات الإلكترونية [4-6]. وعند الوصول لحد العتبة لحدوث الفعل الليزري وللتردد f_L إذ يكون الريح $G(f)$ في أعظم قيمة ومساوياً لمجموع الخسائر الفعالية للفجوة الليزرية (L). ويمكن كتابة شرط الاهتزاز الليزري كما يلي [1]:

$$G(f_L) = \sigma_e(f_L) N(ex) - \sigma_a(f_L) N(gr) = L \quad (1)$$

إذ تمثل $\sigma_e(f_L)$ مساحة المقطع العرضي للانبعاث المحتث، $\sigma_a(f_L)$ مساحة المقطع العرضي للامتصاص، $N(ex)$ و $N(gr)$ كثافة الجزيئات للحالة المتهيبة والأرضية على التوالي. إن الريح للصبغة العضوية يتغير مع تغير عاملين مهمين وهما التردد والزمن خلال زمن نبضة الضخ، ولتوضيح ذلك فقد بين الباحث McCumber [2] بأن معادلة الريح المعتمدة على التردد f_L لنظام مكون من مجموعتين من مستويات الطاقة يمكن التعبير عنها كما يلي [1-3]:

$$G(f_L) = [N_{ex} - N_{gr} \cdot \exp(\frac{hc(\sigma_e - \sigma_a)}{KT})] \frac{I(f)}{n^2 \sigma_e^2} \quad (2)$$