

اختبار وثوقية وتدهور الثنائيات الليزرية المصدرة

للطول الموجي 905nm

*طالبة دراسات عليا: ازدهار طه

المعهد العالي لبحوث الليزر وتطبيقاته - جامعة دمشق

أ.م.د. * * عماد أسعد

**أستاذ مساعد في قسم العلوم الأساسية- كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية.

الملخص:

في هذا البحث تم دراسة عمر الحياة لمجموعة من الثنائيات الليزرية المصدرة للضوء بطول موجة 905nm عند درجة الحرارة التي تتوافق مع نقطة عمل الليزر وتسريع هذه الدراسة من خلال اختبارات إجهاد حرارية لليزرات، وذلك بتشغيلها عند درجات حرارة c° (60,70) ولفترات زمنية تتراوح من 100-1000 ساعة عمل، تم أيضاً حساب كلاً من زمن التدهور وطاقة التنشيط ومعامل التسريع لليزرات المدروسة.

الكلمات المفتاحية: الثنائي الليزري، الإجهاد الحراري، زمن التدهور، طاقة التنشيط، معامل التسريع.

Test Reliability and Degradation of 905nm Laser Diode

Ezdehar Taha* - Imad Asaad**

*Postgraduate Student.

**Associate Professor in Department of Basic Science in the Faculty of Electrical and Mechanical Engineering.

Higher Institute for Laser Research and Application
Damascus University

Abstract:

This paper investigates the lifetime of diodes laser with a wavelength of 905nm at the normal temperature. The experiment was accelerated through thermal stress tests for lasers, by operating them at temperatures of (60, 70) c°, and for periods ranging from 100 to 1000 hours. The paper calculated the degradation time, activation energy and acceleration factor of the considered lasers.

Key world: Diode laser, Thermal stress, degradation time, activation energy, acceleration factor.

1- المقدمة Introduction :

تغطي الثنائيات الليزرية مجموعة واسعة من التطبيقات بدءاً من المؤشرات الليزرية البسيطة وصولاً إلى مصادر ضخ ليزرات الحالة الصلبة، بالإضافة إلى استخدامها على نطاق واسع في مجال الاتصالات بالألياف الضوئية واستخدامها المتزايد في الفضاء الخارجي لذا أصبحت أجهزة لا غنى عنها في المعدات والأنظمة التي تشكل البنية التحتية لمجتمعنا [1].

تتطلب جميع التطبيقات أجهزة ليزرية ذات وثوقية عالية وعمر حياة طويل نسبياً، لذا فإنّ اختبارات وثوقية الأجهزة الليزرية تعتبر من الاختبارات الأساسية التي تقوم بها الشركات المصنعة لتُقدّم للمستخدمين أجهزة ذات ميزات جيدة ووثوقية عالية [2].

2- الدراسات المرجعية Reference Studies:

بهدف تحسين وتطوير أنواع جديدة من الثنائيات الليزرية التي تمتاز بوثوقية واستطاعة ضوئية عالية قام مجموعة من الباحثين في عام (2008) بدراسة تفصيلية لأسباب وأنماط التدهور المختلفة التي تحدث في البنية البلورية لهذه الثنائيات والتي تم فيها إخضاع مجموعة من هذه الثنائيات لاختبارات إجهاد حرارية مختلفة c° (45, 60) تحت نمط تحكم التشغيل التلقائي للتيار Acc لمدة تصل لـ 10000h وللحد من حدوث التدهور كان لابد من التركيز على جودة مادة ركيزة الليزر للتخفيف من انتشار العيوب النقطية أما من أجل التخفيف من الضرر الذي يطرأ على أوجه الليزر يجب التحسين من مادة الطلاء المستخدم [3].

وفي عام (2008) أيضاً تم إجراء اختبارات إجهاد حرارية لمجموعة من الثنائيات التي بلغ عددها 32 ثنائي المصدرة بطول موجي 987nm باستطاعة خرج تصل لـ 5mW عند ثلاث درجات حرارة مختلفة هي c° (60,70,80) على الترتيب ولفترة زمنية تصل لـ 1000 ساعة عمل ولكن باختبار نمط التحكم التلقائي للاستطاعة الضوئية (APC) لتحديد عمر التشغيل [4].

أظهرت النتائج التجريبية أن متوسط عمر التشغيل لهذه الليزر عند درجات الحرارة السابقة هو كالتالي:

درجة الحرارة (c°)	T=60	T=70	T=80
عمر التشغيل (h)	34634	26556	19100

أما عام (2011) تم إجراء اختبارات الإجهاد الحراري للثنائيات الليزرية المصدرة لطول موجي بجوار 900 nm والتي تم تشغيلها تحت تيار حقن يصل لـ 18mA عند درجة حرارة c° 110 ولأكثر من 7000 ساعة عمل والتي لوحظ من خلالها الأداء عالي الموثوقية لهذه الثنائيات التي يمكن أن تعمل لأكثر من 44 سنة عند تشغيلها باستطاعة خرج متوسطة تصل لـ 10W [5].

3- الدراسة النظرية Theoretical study:

3-1 تدهور الثنائي الليزري Degradation of laser diode:

يمكن لأداء ليزرات أنصاف النواقل أن يتدهور مع مرور الزمن وهذا التدهور يكون عادةً إما بانخفاض في قيمة الخرج الضوئي وبالتالي انخفاض في كفاءة الثنائي الليزري تحت تيار حقن ثابت أو بزيادة في قيمة تيار الحقن مع ثبات قيمة الخرج الضوئي لليزر.

يحدث التدهور نتيجة العيوب النقطية التي تتشكل في الوصلة p-n بسبب عملية الاتحاد (الكترن - ثقب) اللاإشعاعي (إصدار فونونات)، والتي تسبب ارتفاع في درجة حرارة الوصلة مما يسبب انهيارها وبالتالي انخفاض في قيمة الخرج الضوئي، وحدث تغيرات في المنحنيات المميزة (I-V) يتبعها تسارع في عملية التدهور [6]. ولتصميم اختبار ناجح لدراسة التدهور يتعين على المجرى اختيار مزيج مناسب من عوامل الإجهاد (الحرارة وكثافة التيار وكثافة الاستطاعة الضوئية) ومن الصعب للغاية تقييم تأثير عوامل الإجهاد بشكل مستقل لأنها ترتبط ارتباطاً وثيقاً ببعضها البعض [7].

3-2 التدهور في عمل الثنائي الليزري ومعادلة الموثوقية:

يعرف التدهور الليزري: بأنه الزمن اللازم ليصل فيه تيار الحقن إلى 20% من قيمته الابتدائية [3,4]. تعد معادلة أرينيوس (Arrhenius) واحدة من أكثر المعادلات الرياضية شيوعاً في تحليل عمر التشغيل للثنائي الليزري والتي من خلالها يمكن تحديد طاقة تنشيط الليزر ومعامل التسريع. تعطى معادلة أرينيوس بالعلاقة [8,9]:

$$t_f = A e^{\frac{E_a}{kT}} \quad (1)$$

حيث :

t_f = زمن الفشل ويقدر بـ (hour)

E_a = طاقة تنشيط الجهاز وتقاس بوحدة eV وهي تعبر عن الحد الأدنى من الطاقة التي يجب أن تمتلكها حاملات الشحنة لتنتقل إلى عصابة الناقلية [10].

K = ثابت بولتزمان وقيمته تساوي (8.617×10^{-5}) بوحدة (eV/k)

T = درجة الحرارة المطلقة للوصلة وتقدر بوحدة الكلفن (k).

A = معامل التسريع يتعلق بنقطة العمل (التيار والاستطاعة) حيث أن A يتناسب مع $\alpha \cdot I^n \cdot P^m$ ، يمثل α معدل الفشل الابتدائي، n معامل تسريع التيار، m معامل تسريع الاستطاعة وتتراوح قيم n و m ضمن المجال (2.2- 5.9) [3,5].

تكتب المعادلة (1) بالشكل :

$$\ln t_f = E_a \left(\frac{1}{KT} \right) + \ln A \quad (2)$$

ولحساب طاقة التنشيط يتطلب إجراء اختبارات الإجهاد الحراري لليزر وذلك باختيار أحد النموذجين التاليين لتشغيل الليزر:

1. تشغيل الليزر في حالة التحكم التلقائي للتيار (Automatic current control)(Acc).

2. تشغيل الليزر في حالة التحكم التلقائي لطاقة الخرج (Automatic power control)(APC).

ولفترات زمنية طويلة نسبياً [10,11].

يتم حساب عمر الحياة عند درجات حرارة مختلفة من المعادلة:

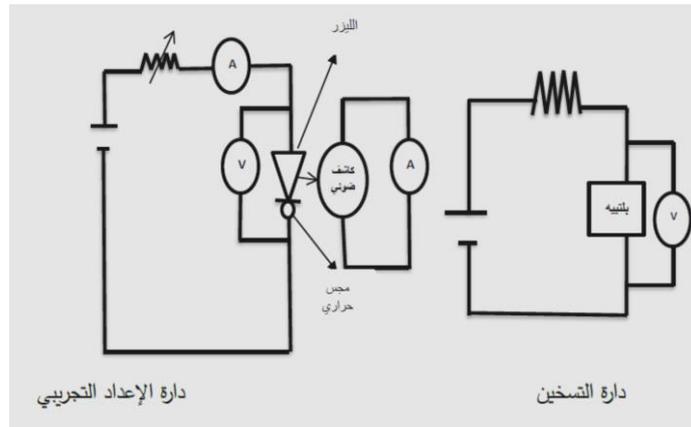
$$\frac{tf_1}{tf_2} = \frac{A \exp \left(\frac{E_a}{KT_1} \right)}{A \exp \left(\frac{E_a}{KT_2} \right)} \quad (3)$$

وذلك عند تشغيل الليزر بدرجتين حراريتين مختلفتين و حساب زمن الفشل لليزر عند درجة الحرارة T_1 .

4- الإعداد التجريبي وتحليل النتائج:

1-4 العمل التجريبي Experimental work:

تم دراسة المنحنيات المميزة تيار- توتر- قدرة خرج الليزر- المقاومة الديناميكية- المردود عند درجة الحرارة الطبيعية $c^{\circ} (T=29.0 \pm 0.2)$ قبل وبعد عملية الإجهاد حيث تم توصيل الدارة الكهربائية كما في الشكل (1):

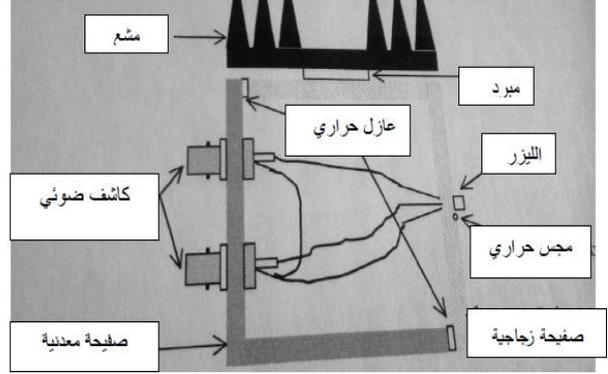


الشكل (1) رسم تخطيطي لدائرة الإعداد التجريبي.

ومن أجل التحكم بدرجة الحرارة تم تصميم المنظومة التالية:



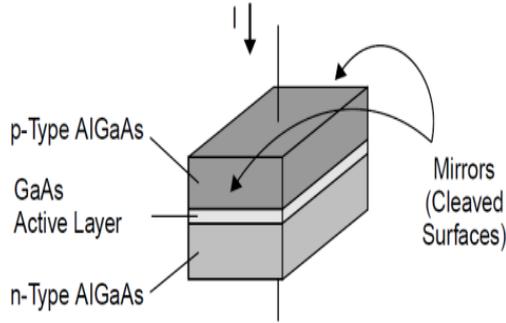
صورة حقيقية للعبة الليزرية.



رسم تخطيطي للعبة

الشكل (2) منظومة التسخين.

ومن أجل تنفيذ العمل تم استخدام ثنائيات ليزرية ذات بنية غير متجانسة كما هو موضح بالشكل:



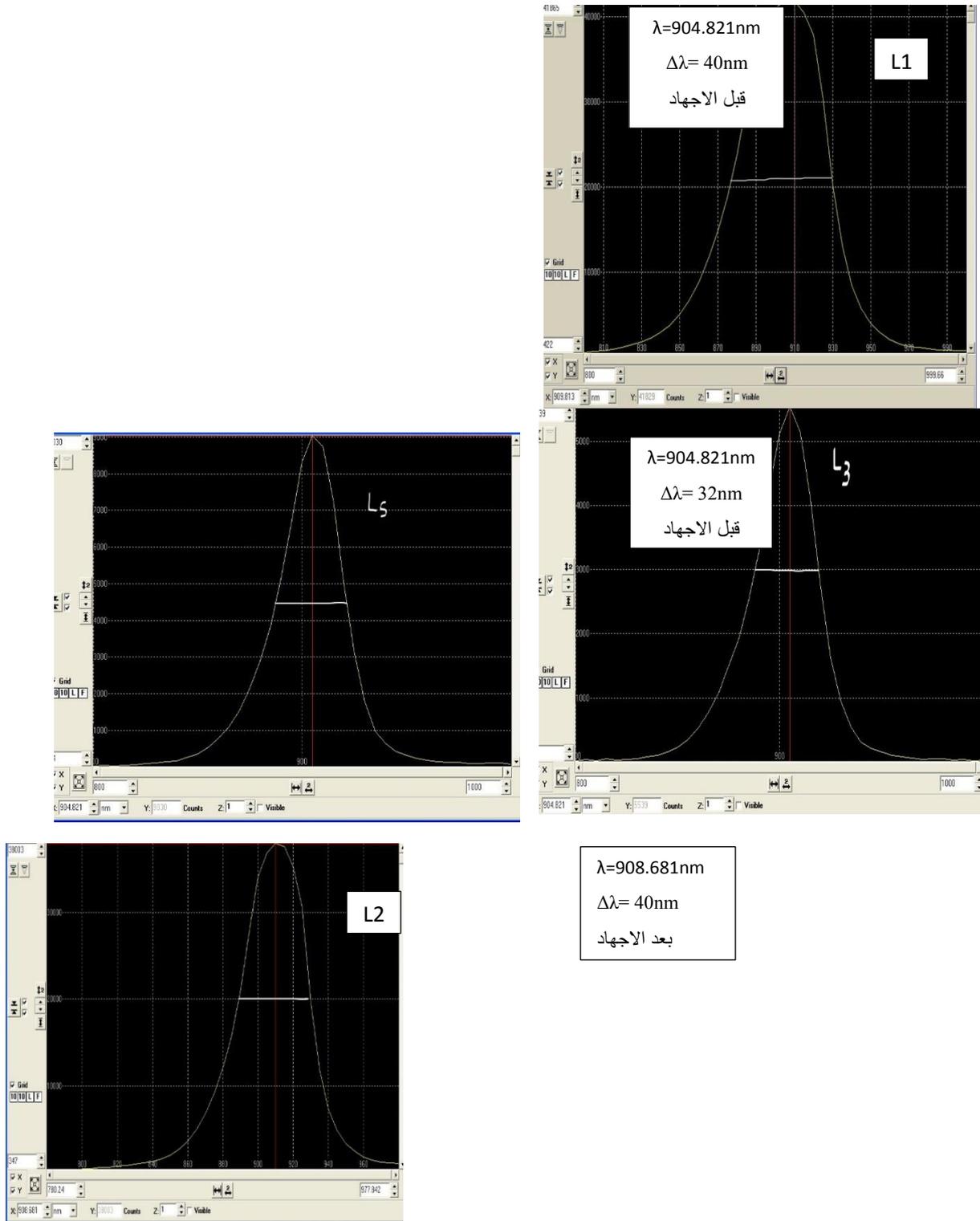
الشكل (3): ثنائي ليزري سداسي الأرجل ذات بنية غير متجانسة (متغايرة).
(Heterojunction Laser Diode)

تم إجراء اختبارات الإجهاد الحراري لثلاث ليزرات وذلك بالتشغيل المستمر لمدة 720 ساعة وعند درجتي حرارة 60°C و 70°C بارتياح لدرجة الحرارة قدره 2°C ، تم مراقبة المنحنيات المميزة لاثنتين منها كل 240 ساعة ومن ثم متابعة مرحلة الاجهاد السابقة.

2-4 تحليل النتائج التجريبية Analysis of experimental results

بدايةً تم مقارنة الطول الموجي المركزي وعرض الخط الطيفي لليزرات ومن ثم دراسة المنحنيات المميزة الكهربائية والضوئية لليزرين قبل وبعد عملية الاجهاد في درجة الحرارة $T=29^{\circ}\text{C}$.

1-2-4 التغير في الطول الموجي:

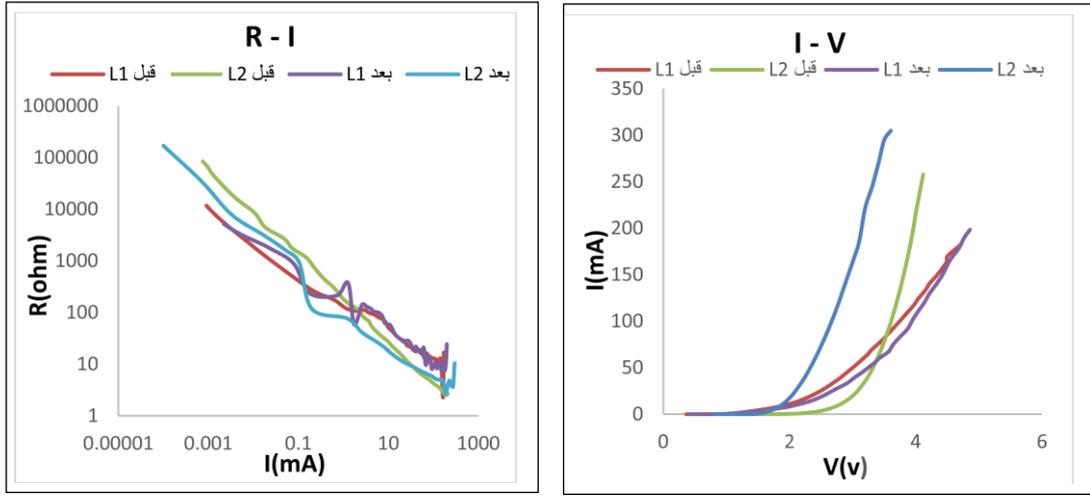


الشكل (4): مقارنة الطول الموجي المركزي قبل وبعد الاجهاد.

من دراسة التغيرات التي طرأت على طيف الاصدار لوحظ زيادة في قيمة الطول الموجي بنسبة 0.16 nm/c° بالنسبة لـ L1 أما بالنسبة لـ L2 فبلغت الزيادة 0.09 nm/c° ، كما نلاحظ زيادة ملحوظة في قيمة عرض الخط الطيفي $\Delta\lambda$ لكلا الليزرين مما يدل على بداية حدوث تغيرات في المجاوبة الليزرية تتمثل بازدياد في قرينة انكسار المنطقة الفعالة وذلك لارتباط تغير عرض الخط الطيفي ببنية المجاوبة والتي تدل على حدوث تدهور في أداء الليزر ويرجح أن التدهور الحاصل هو تدهور تدريجي لأن الزيادة في قيمة الطول الموجي لم تتجاوز 0.25 الذي يبدأ عنده حدوث تدهور سريع [12].

2-2-4 الخصائص الكهربائية والضوئية لليزر المدروسة:

نورد في الشكل (5) الخصائص الكهربائية لليزر المدروسة حيث نبين فيها مقارنة في تغيرات كلاً من تيار الحقن بدلالة الجهد الكهربائي المطبق وتغيرات المقاومة الديناميكية بدلالة تيار الحقن لليزرين قبل وبعد الاجهاد:



(b)

(a)

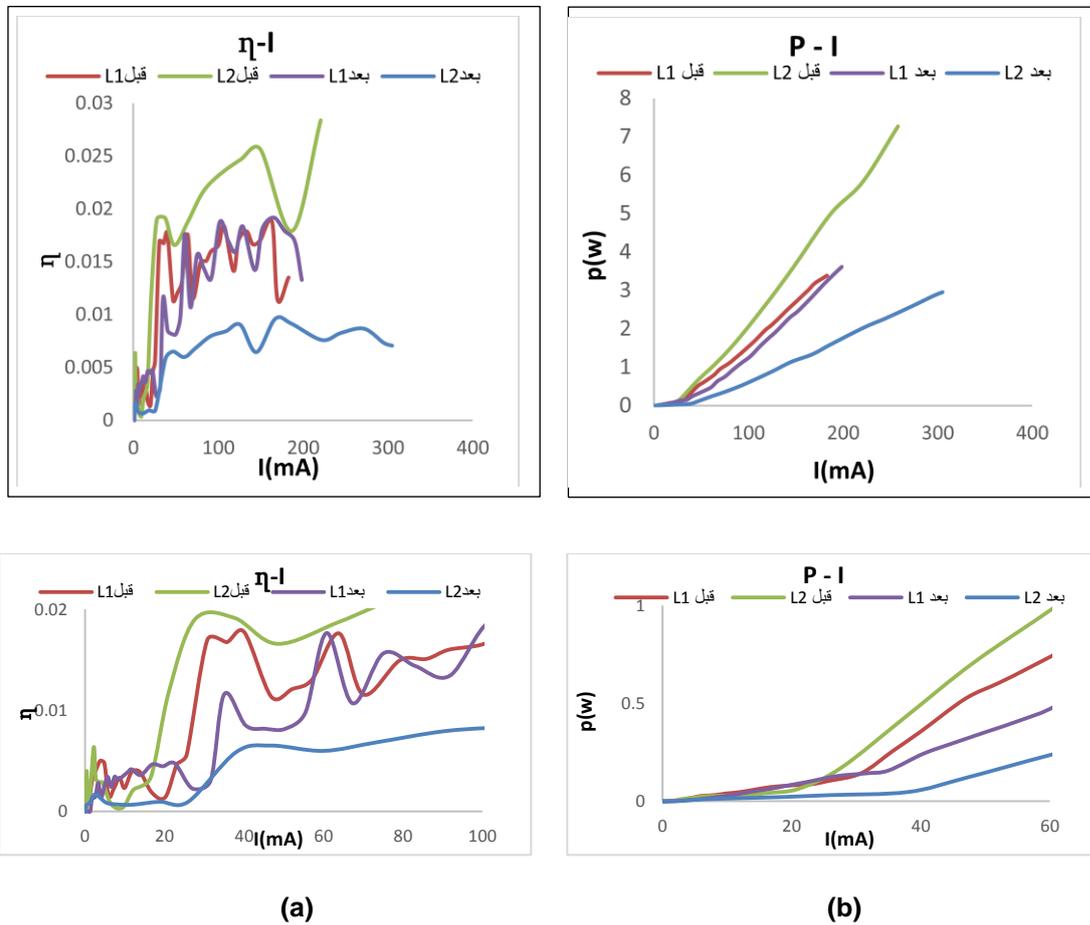
الشكل (5): المنحنيات المميزة الكهربائية لليزر المدروسة قبل الإجهاد وبعد تشغيل الليزر لفترة 720 ساعة باستمرار.

(a) تغيرات تيار الحقن بدلالة الجهد المطبق، (b) تغيرات المقاومة الديناميكية بدلالة تيار الحقن.

حيث نلاحظ:

1. استقراره في الخصائص الكهربائية لليزرين مع انخفاض ملحوظ في قيمة المقاومة الديناميكية بعد الإجهاد لليزر L2 وتغير طفيف في قيمتها لليزر L1.

2. المقاومة الديناميكية لا تصل إلى المقاومة التسلسلية مما يدل على وجود تيارات تهريب في الأوجه الجانبية لطبقات الحصر حول المنطقة الفعالة ناتجة غالباً عن عدم استقرارية اللحام الذي يؤثر على أجزاء الترابط مسبباً هجرة بعض حوامل الشحنة التي تعطي هذه التيارات الصغيرة [13].
نورد في الشكل (6) الخصائص الضوئية لليزرات المدروسة حيث نبين فيها التغيرات التي طرأت عليها بعد الإجهاد الحراري:



الشكل(6): المنحنيات المميزة الضوئية لليزرات المدروسة قبل الإجهاد وبعد تشغيل الليزر لفترة 720 ساعة باستمرار. (a) تغيرات المردود الضوئي بدلالة تيار الحقن، (b) تغيرات الاستطاعة الضوئية بدلالة تيار الحقن.

حيث نلاحظ:

ازدياد في قيمة تيار العتبة لكلا الليزرين وانخفاض ملحوظ في قيمة الاستطاعة الضوئية لليزر L2 وانخفاض طفيف في هذه القيمة لليزر L1 مما أدى إلى انخفاض في قيمة مردوده الضوئي.

يوضح الجدول التالي قيم كلاً من تيار العتبة والمردود لليزرين قبل وبعد الإجهاد:

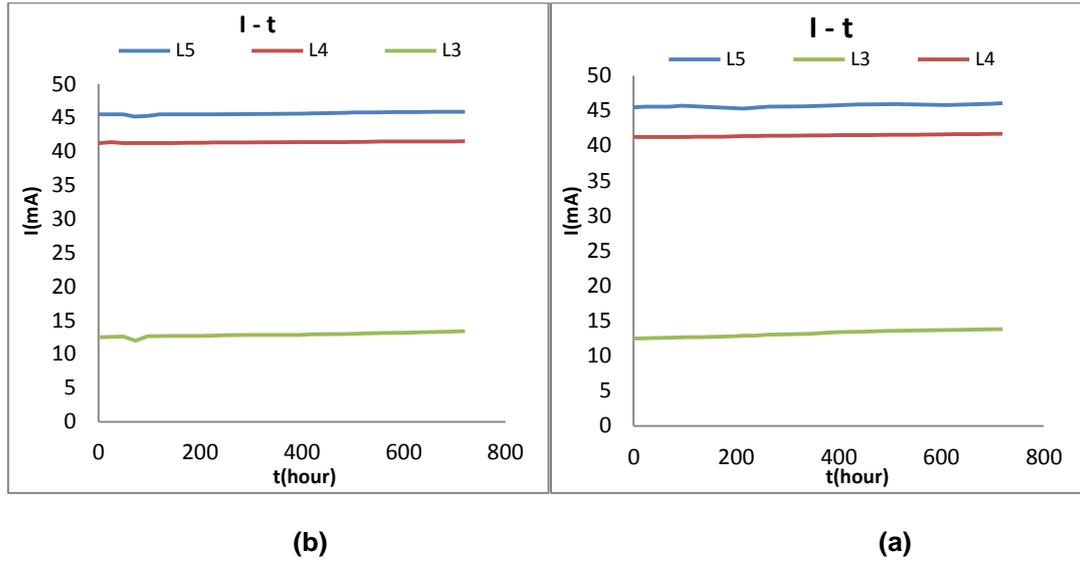
الجدول (1) مقارنة قيم تيار العتبة والمردود الضوئي قبل وبعد الاجهاد

L2		L1		الليزر
بعد	قبل	بعد	قبل	
46.80	27.69	40.40	30.76	تيار العتبة (mA)
0.14	2.16	1.61	1.52	المردود %

من المنحنيات LIV السابقة والقيم المبينة في الجدول أعلاه نلاحظ وجود تطابق تام ما بين الخصائص الضوئية والكهربائية لليزر L2 من حيث انخفاض قيمة الاستطاعة الضوئية وازدياد في قيمة تيار العتبة بعد عملية الاجهاد الحراري ويمكن تفسير هذه التغيرات بسبب انتشار العيوب النقطية نتيجة عملية إعادة الاتحاد للإشعاعي المتولدة في المنطقة الفعالة نتيجة ارتفاع درجة الحرارة والتي تقود بدورها إلى انخلاقات قد تؤثر على المنطقة الداخلية مما يسبب تلف الجهاز الليزري [14]، أما بالنسبة لليزر L1 يلاحظ تحسن طفيف في قيمة المردود الضوئي وهذا قد يدل على تلاشي لبعض سويات العيب في البنية البلورية مما عزز من عملية الاتحاد الإشعاعي المساهم الرئيسي للإصدار الليزري.

3-4 نتائج الاختبار Test results:

في عملية اختبار الإجهاد الحراري تم اختيار نموذج (Apc) ودراسة تغيرات تيار الحقن بدلالة زمن التشغيل وتم الحصول على النتائج التالية:



الشكل (7): تغيرات تيار الحقن بدلالة الزمن.

(a) عند $T=60c^{\circ}$ ، (b) عند $T=70c^{\circ}$

لم يلاحظ ظهور أي فشل عشوائي ومفاجئ (تدهور كارثي ينهي عمر الليزر) أثناء تشغيل الليزر بشكل منتظم ولمدة 720 ساعة عمل باستمرار إنما لوحظ زيادة تدريجية في تيار الحقن تحت خرج ضوئي ثابت مما يدل أنّ التدهور الحاصل هو تدهور تدريجي وهذا يتوافق مع ما لوحظ في المنحنيات المميزة LIV التي نوقشت سابقاً وهذا يتوافق مع [5,14,15].

4-4 الدراسة التحليلية لعمر الحياة Life age analysis study:

إنّ الزمن اللازم ليصل فيه تيار الحقن إلى 20% من قيمته الابتدائية يحدد عمر التشغيل لليزر وبالاعتماد على معادلة أرينيوس نبين في الجدول التالي قيم معدل العمر (الشيخوخة) (KHr%) وعمر التشغيل (t_f) للبيزرات المدروسة عند درجات الحرارة c° (29 , 60 , 70) فنجد:

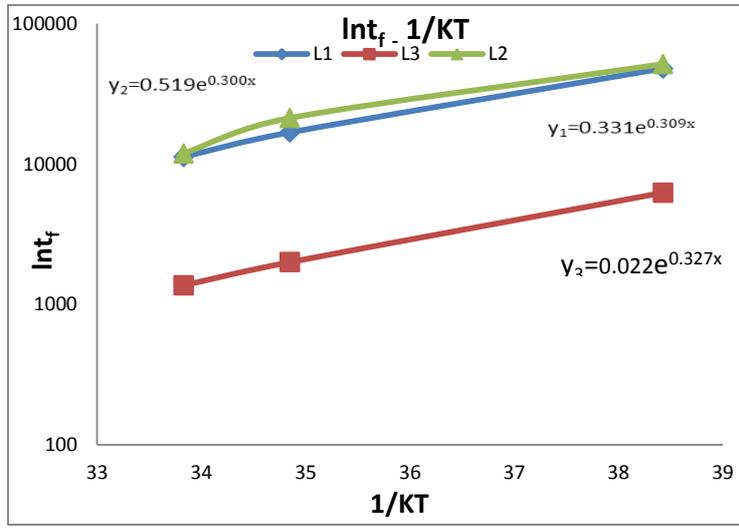
لجدول (2) تقدير معدل العمر (الشيخوخة) وعمر التشغيل للثنائيات الليزرية.

$T=70c^{\circ}$		$T=60c^{\circ}$		$T=29c^{\circ}$		الليزر
t_f (hour)	KHr%	t_f (hour)	KHr%	t_f (hour)	KHr%	
11246.9	1.28	16811.08	0.86	47980.85	0.01	L1

13200.00	1.10	21290.00	0.67	51562.00	0.01	L2
1366.48	10.48	2000.00	7.20	6250.00	0.08	L3

أظهرت النتائج سلوك شيخوخة صغير و منتظم خلال ساعات العمل الأولى ثم أصبح أكثر وضوحاً فنجد أن الليزر L1 زمن تدهوره هو بحدود 1.92 سنة و L2 بحدود 2.42 سنة أما L3 فهو تقريباً 83 يوم أي أقل من سنة وذلك عند درجة الحرارة 60°C.

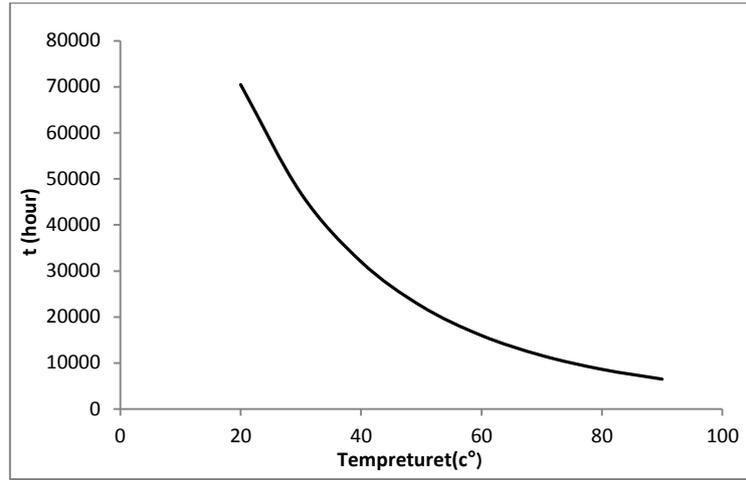
باستخدام المعادلة (2) يمكن إيجاد قيمة طاقة تنشيط الليزر ومعامل التسريع من خلال دراسة تغيرات Int_f بدلالة $\frac{1}{KT}$ باستخدام القيم المبينة أعلاه في الجدول كما هو موضح بالشكل التالي:



الشكل (8) تغيرات Int_f بدلالة $\frac{1}{KT}$.

نلاحظ أن قيم طاقة التنشيط لليزرات المدروسة متقاربة ونجد أنها تساوي (0.300 ± 0.030) eV وتتطابق مع النتائج المنشورة [4,11,16].

باستخدام المعادلة (3) يمكن إيجاد عمر تشغيل الليزر عند تشغيله في درجات حرارة مختلفة كما هو مبين في الشكل (9):



الشكل (9): عمر حياة الليزر L1 عند درجات حرارة مختلفة.

مما سبق نستنتج مايلي:

- 1- انخفاض في طاقة الخرج بعد تشغيل الليزر لمئات الساعات سببه انتشار سريع للعيوب في المنطقة الفعالة بفعل إعادة الاتحاد اللا إشعاعي والذي يمكنه أن يصهر سطح الارسال للتثائي.
- 2- أبدت التثائيات الليزرية خصائص كهربائية طبيعية إلا من حيث المقاومة التسلسلية التي لا يمكن الوصول إليها مما يدل على وجود تيارات تهريب صغيرة حول المنطقة الفعالة بسبب تيار التوليد و إعادة الاتحاد.
- 3- وجود تغير ملحوظ في المردود الضوئي دلالة على وجود عيوب في المجاوب والذي قد يسبب الى انهيار طفيف في المرايا.
- 4- التدهور الحاصل هو تدهور تدريجي قد يعمل فيه الليزر لآلاف الساعات من العمل.

5- الخلاصة Conclusion:

تمت دراسة سلوكيات التدهور والوثوقية للتثائيات الليزرية المصدرة للضوء بطول موجي 905nm وتبين بأن هذه الليزرز عادة ماتكون ذات وثوقية عالية وأن التدهور الحاصل لها بعد إجهاها حرارياً ولمدة تصل تقريباً لـ 720h عمل عند درجتى حرارة c° (60 , 70) وعند استطاعة ضوئية مقدارها 0.2mW هو تدهور تدريجي.

6-References:

- [1] STATEIKINA I., (2004) - Optoelectronic Semiconductor Devices – Principals a Characteristics. Semantic scholar.
- [2] JOHNSON L., (2006) - Laser Diode Burn- IN and Reliability Testing. IEEE Communication Magazine.

- [3] Häusler, K., Zeimer, U., Sumpf, B., Erbert, G., & Tränkle, G. (2008) - Degradation model analysis of laser diodes. Journal of Materials Science: Materials in Electronics, 19(1), 160-164.
- [4] Gale, P. (2008) - Estimating laser diode lifetimes and activation energy. ILX Lightwave application note, 1-2.
- [5] Bao, L., Leisher, P., Wang, J., Devito, M., Xu, D., Grimshaw, M & Martinsen, R. (2011) - High reliability and high performance of 9xx-nm single emitter laser diodes. In High-Power Diode Laser Technology and Applications IX (Vol. 7918, p. 791806). International Society for Optics and Photonics.
- [6] OTT M. (2001) - Capabilities and Reliability of Led and Laser Diodes. Nasa Goddard Space Flight center, (301-286-0127).
- [7] Deshayes, Y., Verdier, F., Bechou, L., Tregon, B., Danto, Y., Laffitte, D., & Goudard, J. L. (2004) - Estimation of lifetime distributions on 1550-nm DFB laser diodes using Monte-Carlo statistic computations. In Reliability of Optical Fiber Components, Devices, Systems, and Networks II (Vol. 5465, pp. 103-115). International Society for Optics and Photonics.
- [8] ASAAD I., ORSAL B. P., PEREZ J. P., SIGNORET P., ALABEDRA R. M., POMMIES M., & BETTIATI M. A., (2003) - Gradual Degradation in 980nm InGaAs/AlGaAs Pump Laser. Material Science and Engineering, B , (91-92), 486-490.
- [9] ZUFLE S., (2017) - Determination of Charge Transport Activation Energy and Injection Barrier in Organic Semiconductor Devices. Journal of Applied Physics (122).
- [10] ORSAL B., ASAAD I., (2012) - SCLC Degradation in 980nm Pump Laser by Using Electrical Noise. International Scholarly Research Network ISRN Optics, Article ID (841695).
- [11] MAWLUD S., (2012) - Effect of Temperature on Reliability and Degradation of 0.63μm Laser Diode. Baghdad science Journal, 9(1), 143.
- [12] Rechenberg, I., Klehr, A., Richter, U., Erfurth, W., Bugge, F., & Klein, A. (2000) - Interdiffusion-induced degradation of 1017 nm ridge waveguide laser diodes. Journal of crystal growth, 210(1-3), 307-312.
- [13] JOSEPH ST., O'FALLON MO., (2017) - How to Improve Laser Diode Life Time Advice and Precautions on Mounting. RPMC Lasers INC, (63366).
- [14] JUAN J., (2003) - Laser diode reliability: crystal defects and degradation modes. Comptes Rendus Physique, 4(6), 663-673.
- [15] JOHNSON L., (2006) - Accelerated Aging Test of 1310nm Laser Diodes. ILX Lightwave, (29).

[16] SHIONO N., ARAI E., & MUTOH S., (2015) - Historical over View of Semiconductor device Reliability for Telecommunication Networks—Field Data, Prediction model of Device Failure Rate, and Wear-out Failure Analyses at NTT. NTT Technical Review, 11(5), 1-12.

