

دراسة الخصائص الكهربائية والضوئية لليزر الاخضر ذي تقنية الضخ الضوئي لبلورة مضاعفة التردد

مصعب صالح محمد

قسم الفيزياء / كلية التربية

جامعة الموصل

القبول

٢٠١١ / ٠٢ / ٠٩

الاستلام

٢٠١٠ / ٠٩ / ٢١

Abstract:

The electrical and optical characteristics of diode pumped solid state frequency doubled (DPSSFD) semiconductor laser had been studied. Five different techniques had been used to calculate the laser threshold are (L-I, V-I, dV/dI vs I, IdV/dI vs I, $L/(dL/dI)$ vs I). The calculated values of threshold current had been found varying from 96mA to 99mA. While the series resistance of the laser diode was determined above threshold by using three methods (V-I, dV/dI vs I, IdV/dI vs I) and the value estimated between (6.3 ~ 6.6) Ω . The quantum differential efficiency η_D had been found to be high and equal to 0.66W/A. Maximum optical power emitted from DPSSFD laser is 14mW. The electrical ideality factor and optical ideality factor should be nearly equal and they are about unity.

المخلص:

تم في هذه البحث دراسة الخصائص الكهربائية والضوئية لليزر شبه الموصل والذي يعمل بتقنية الضخ الضوئي لبلورة من مادة صلبة تقوم بمضاعفة التردد او ما تعرف اختصارا بتقنية DPSSFD. تم استخدام خمسة تقنيات لإيجاد تيار العتبة لليزر وهي (L-I, V-I, dV/dI vs I, IdV/dI vs I, $L/(dL/dI)$ vs I) ووجد بان تيار العتبة تتراوح قيمته بين (96~99) mA فيما تم إيجاد المقاومة المتوالية لنبيطة الليزر وفي منطقة العمل فوق العتبة وباستخدام ثلاث تقنيات وهي (V-I, dV/dI vs I, IdV/dI vs I) ووجد ان قيمها تتراوح بين

$\Omega(4.5\sim 6.6)$ كذلك تم حساب الكفاءة الكمية التفاضلية لهذا الليزر η_D وكانت مرتفعة نسبيا وتساوي $0.66W/A$ فيما وجد بان أقصى قدرة منبعثة من هذا الليزر تصل الى $14mW$. أخيرا وجد بان قيمة عامل المثالية الضوئي n_L مساوية للواحد وتكون تقريبا مساوية لقيمة عامل المثالية الكهربائي n .

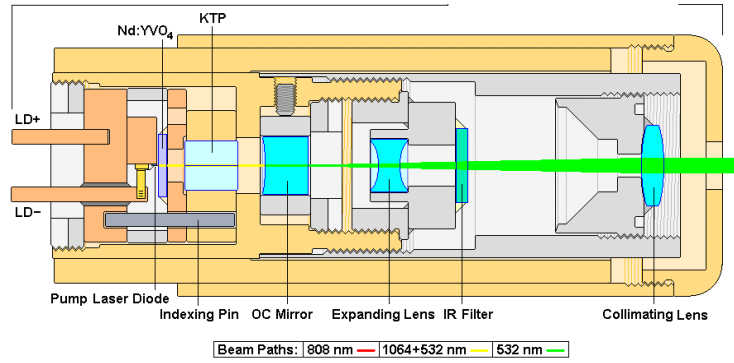
١ - المقدمة :

يعتبر الليزر ذي الضوء الأخضر أكثر سطوعا من الليزر الشبه الموصل الأحمر بمقدار (60) مرة وذلك لان طوله الموجي اقل من اللون الأحمر ولامتلكه قدرة ضوئية مرتفعة، ولونه المميز جعل منه مادة جيدة للباحثين في مجال التطبيقات البصرية [1]. حيث قدم الباحث U. Steegmüller وجماعته [1] دراسة الهدف من ها عمل مسح لشعاع الليزر الأخضر من نوع DPSSFD وكذلك دراسة إمكانية التضمين وإرسال إشارة فيديو من خلال دائرة تضمين خاصة . فيما قدم الباحث Michael J. Myers وجماعته [5] بحثا تضمن استخدام الليزر DPSSFD في محركات الاحتراق الداخلي وذلك في توليد الشرارة اللازمة للاحتراق تراق. في هذا البحث سيتم دراسة الخصائص البصرية (والتي تتضمن حساب أقصى قدرة ضوئية منبعثة وحساب المشتقة لها مع التيار وعامل المثالية الضوئي) لليزر DPSSFD وكذلك دراسة الخصائص الكهربائية وذلك من خلال خمسة طرق لإيجاد تيار العتبة وهي : باستخدام خصائص القدرة الضوئية مع تيار الحقن ، وطريقة خصائص الفولتية تيار ، ومشتقاتها مع التيار ، وطريقة IdV/dI مع التيار وأخيرا باستخدام منحنى العلاقة بين $L/(dL/dI)$ والتيار . إضافة إلى ذلك سيتم تحديد المقاومة المتوالي لنبيطة الليزر DPSSFD بثلاث طرق وسيتم تحديد منطقة ثبوت شبه مستويات فيرمي Quasi-Fermi Level وإيجاد الكفاءة التفاضلية η_D وأقصى قدرة ضوئية منبعثة P_{max} علاوة على إيجاد عامل المثالية الكهربائي n وعامل المثالية الضوئي n_L .

٢ - تركيب الليزر الأخضر وتطبيقاته:

إن لصعوبة الحصول على بلورة شبه موصل يمكن من خلالها الحصول على ليزر ذي ضوء اخضر بشكل مباشر تم اللجوء إلى استخدام تقنية ثنائي ليزر يضخ بلورة من مادة صلبة تقوم بمضاعفة التردد وهذه التقنية تعرف اختصارا لـ Diode Pumped Solid State Frequency Doubled (DPSSFD). اذ يقوم ثنائي ليزر غير مرئي ($\lambda=808nm$) بضخ قطعة بالغة الصغر من مادة $Nd:YVO_4$ (وهي بلورة النديميوم المطعمة بـ YVO_4 Neodymium Doped Yttrium Orthovanadate)

منتجة ضوءاً بطول موجي ($\lambda=1064\text{nm}$) بمساعدة مرنان خارجي [2] احد أوجهه السطح الذي يخرج منه ضوء الليزر غير المرئي، ومن ثم يتم ادخال هذا الطول الموجي الجديد الى البلورة الفعالة التي تقوم بمضاعفة التردد وهي من نوع Potassium Titanil Phosphate (KTP) وهي بلورة بصرية غير خطية ذات تركيب كيميائي بالشكل (KTiOPO_4) اذ ينتج منها طولين موجيين الاول يكون مساوياً للطول الموجي الداخل ($\lambda=1064\text{nm}$) والثاني طوله الموجي يساوي نصف الطول الموجي الداخل ($\lambda=532\text{nm}$) وهو يمثل الطول الموجي للون الاخضر وبعد ذلك يدخلان هذان الطولان الموجيان الى مرشح IR ليتم امتصاص الطول الموجي ($\lambda=1064\text{nm}$) والخارج يكون بشكل ليزر بضوء اخضر ساطع ($\lambda=532\text{nm}$) وكما هو موضح لمخطط هذا الليزر في الشكل (1) [3].



الشكل(1): مخطط لمكونات الليزر ذي الضوء الأخضر من نوع DPSSFD [3].

هناك العديد من التطبيقات التي يدخل فيها الليزر DPSSFD ومن أهمها، التصوير المجسم والهوموداين، والهيتروداين، وتحديد المدى، وفي التمثيلات او التوضيحات الاحترافية، وكموشر فضائي للكواكب والنجوم، ودليل في الرحلات، وفي الهندسة التركيبية وفي تحديد مدى استواء الأجسام والمجالات الطبية [4] وغيرها من التطبيقات البصرية. اهتم الكثير من الباحثين في دراسة التضمين الداخلي [5] والخارجي [6] لهذا النوع من الليزر وفي دراسة بعض الخصائص الاستاتيكية.

٣ - الجانب النظري:

أ - نظرية تحديد تيار العتبة لليزر شبه الموصل والمقاومة المتوالية: إن الطريقة التقليدية في إيجاد تيار العتبة لأي ليزر شبه موصل تكون من خلال معرفة خصائص القدرة الضوئية المنبعثة من الليزر مع تيار الحقن ومن تقاطع امتداد الخط البياني وفي منطقة التيارات العالية (الانبعاث المحفز) مع المحور الأفقي يمكن إيجاد تيار العتبة وفي هذه الطريقة

عادة ما تكون قيمة تيار العتبة غير مضبوطة وأعلى من القيمة الحقيقية [7]. كذلك يمكن إيجاد تيار العتبة لليزر من خلال خصائص V-I وذلك من ملاحظة نقطة البداية للمنطقة التي تثبت عندها الفولتية المسلطة على ثنائي الليزر وتحديد قيمة I لتيار وهي تمثل أيضا قيمة تيار العتبة كما يمكن إيجاد المقاومة المتواليّة R_s من ميل العلاقة وعند منطقة التيارات العالية [7]، وفي حالة إمكانية الحصول على المشتقة الأولى للفولتية نسبة إلى التيار dV/dI سواء بطريقة عملية كما قام بها الباحث H. Mi [8] وهي طريقة تتطلب أجهزة ومعدات دقيقة ومتطورة أو بطريقة عددية كما تم ذلك في هذا البحث، يصبح من الممكن إيجاد عدة معاملات مهمة تخص الليزر شبه الموصل منها تيار العتبة إضافة إلى إمكانية تحديد المقاومة المتواليّة وكذلك تعيين منطقة ثبوت أو (قفل) شبه مستويات فيرمي والتي سيتم توضيحها بالتفصيل في الفقرة (2) [8]. لدينا المعادلة الآتية والتي تمثل معادلة التيار للثنائي I الذي يمتلك مقاومة متواليّة قدرها R_s بالشكل [8]:

$$I = I_0 \left[\exp \left(\frac{q(V_j)}{nkT} \right) - 1 \right] \dots \dots \dots (1)$$

اذ ان I_0 يمثل تيار التشبع، $V_j = V - IR_s$ تمثل فولتية الوصلة و V الفولتية الخارجة المسلطة على الثنائي، n يمثل عامل المثالية الكهربائي. في حالة الانحياز الأمامي يمكن إهمال الواحد من معادلة (1) عندئذ:

$$V = \frac{nkT}{q} \text{Log} \left(\frac{I}{I_0} \right) + IR_s \dots \dots \dots (2)$$

نشتق المعادلة (2) بالنسبة للتيار:

$$\frac{dV}{dI} = R_s + \frac{nkT}{q} \frac{1}{I} \dots \dots \dots (3)$$

$$I \frac{dV}{dI} = IR_s + \frac{nkT}{q} \dots \dots \dots (4)$$

عند رسم العلاقة بين $I \frac{dV}{dI}$ والتيار I فان الميل يمثل المقاومة المتواليّة وتقاطع امتداد المنحني يمكن من خلاله إيجاد عامل المثالية الكهربائي. كما يمكن أيضا تعيين تيار العتبة من هذه العلاقة من خلال تحديد نقطة الهبوط المفاجئ في المنحني [8].

نفس الكلام السابق يمكن ان يقال عن العلاقة بين القدرة الضوئية المنبعثة من الليزر شبه الموصل L والفولتية المسلطة عليه V وفي المنطقة الواقعة فوق العتبة:

$$L = \frac{L_0 \exp q}{n_L kT} (V - IR_s) \dots \dots \dots (5)$$

إذ ان n_L تمثل عامل المثالية الضوئي. ومن دون الدخول في التفاصيل للاشتقاق يمكن أن نجد أخيرا العلاقة المهمة الآتية [8]:

$$\frac{L}{dL/dI} = \frac{n_L I}{n} \dots \dots \dots (6)$$

لهذا ومن هذه المعادلة فان رسم العلاقة بين $\frac{L}{dL/dI}$ و تيار الحقن I فالميل لهذه العلاقة يمكن من خلاله إيجاد عامل المثالية الضوئي n_L لليزر شبه الموصل. كذلك يمكن من خلال إيجاد تقاطع القيمة الدنيا لهذا المنحني مع المحور الأفقي إيجاد تيار العتبة وهذه تعتبر الطريقة الخامسة في تحديد تيار العتبة لليزر شبه الموصل .

ب- شبه مستويات فيرمي في الليزر شبه الموصل : عند تسليط فرق جهد أمامي على الثنائي فان المسافة بين شبه مستويات فيرمي تبدأ بالزيادة ومقدار الفاصلة بينها تعتمد على مقدار الفولتية المسلطة على الثنائي ،وعند زيادة الانحياز الأمامي يزداد حقن الالكترونات (والفجوات) داخل البلورة وهذا ينتج عنه زيادة في عدد الحاملات المتحركة باتجاه المنطقة الفعالة الى أن تصل الوصلة الى عتبة الليزر (الكسب يكون مساويا للخسائر) وعندما يكون هنالك زيادة بما فيه الكفاية من الالكترونات والفجوات المحقونة في المنطقة الفعالة يكون هنالك كسب بصري كافي للتغلب على الخسائر وفعل الليزر يبدأ عندئذ وفي تلك النقطة بالذات (فوق العتبة) فان اي زيادة اضافية في الحاملات المحقونة سيحصل لها اعادة اتحاد سريعة جدا نتيجة الانبعاث المحفز وبذلك فان شبه مستويات فيرمي تثبت (او يحصل لها قفل Locked) بعد العتبة ولا يكون هنالك زيادة في الفاصلة بينهما على الرغم من زيادة في عدد الحاملات المحقونة . وبعبارة اخرى فان ش به مستويات فيرمي تقفل عند عتبة الليزر وبعدها ذلك لان عمر الحاملات المتواجدة يتناقص بشكل كبير جدا لقوة عملية الانبعاث المحفز . ويمكن تحديد هذه المنطقة عمليا من ملاحظة ثبوت المقاومة المتوالية للثنائي مع زيادة الفولتية المسلطة . إن شبه مستوى فيرمي يصل الى الذروة (Pinned) فوق العتبة وهناك شرط عام للكسب يعطى بالعلاقة [8]:

$$\gamma_o(v) = \frac{\lambda^2}{8\pi\tau_r} \rho(v) f_g(v) \dots \dots \dots (7)$$

إذ تمثل γ_o الكسب عند التردد v ، $\rho(v)$ تمثل كثافة الحالات .
 $f_g(v) = E_{fc} - E_{fv}$ تمثل الفاصلة بين شبه مستويات فيرمي . τ_r يمثل زمن اعادة الاتحاد الإشعاعي. إن ذروة معامل الكسب γ_p تتناسب تقريبا مع تركيز الحاملات المحقونة في المنطقة الفعالة والتي بدورها تتناسب مع كثافة تيار الحقن :-

$$\gamma_o = \alpha \left(\frac{J}{J_T} - 1 \right) \dots \dots \dots (8)$$

$$J_T = \frac{qd}{n_i \tau_r} \Delta n_c \dots \dots \dots (9)$$

إذ أن $n_i \cong \frac{\tau}{\tau_c}$ الكفاءة الكمية الداخلية، \square عمر الحاملات، d سمك المنطقة الفعالة، α معامل الامتصاص في حالة الاتزان الحراري، Δn_c تركيز الحاملات المحقونة، J/τ كثافة التيار اللازمة لجعل الشبه الموصل شفافا.

من المعادلة (٩) يمكن ملاحظة أن أي زيادة في كثافة التيار المحقون فان تركيز الحاملات يزداد أيضا ويتبع ذلك زيادة في الفاصلة بين شبه مستويات فيرمي، وعندما تكون كثافة التيار المحقون في الليزر شبه الموصل كبيرة بما فيه الكفاية لجعل الفرق $E_{fc} - E_{fv}$ اكبر من طاقة الفوتون المنبعث والتي تساوي تقريبا فجوة الطاقة عندئذ ينتج كسب موجب وتزداد ذروة معامل الكسب بشكل حاد لتصل إلى الإشباع عند الذروة، وعند ذروة الكسب فان عمر الحاملات داخل المنطقة الفعالة يكون قصير جدا.

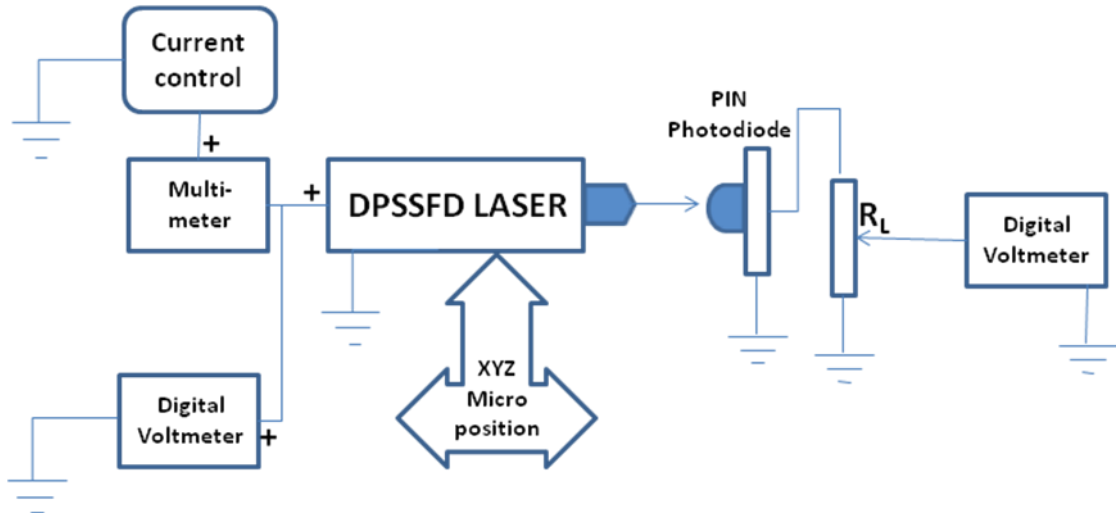
عندما تكون الفولتية المسلطة على الثنائي مساوية او اكبر بقليل من فولتية العتبة (طاقة العتبة للفوتون) فان فولتية الوصلة تبقى ثابتة ولا يحدث زيادة في الفاصلة بين شبه مستويات فيرمي (اشباع) وتحت شرط الاشباع هذا فان الزيادة في تيار الوصلة يعمل فقط على زيادة كمية الضوء الخارج من الليزر (القدرة الضوئية تزداد) وليس لها تأثير على فولتية الوصلة [8]. إن قياسات المشتقة الأولى dV/dI تعطي معلومات عن المنطقة التي يحدث فيها ثبوت في شبه مستويات فيرمي، وبم كن ملاحظة منطقة قفل شبه مستويات فيرمي عندما لا تكون هناك زيادة في الفولتية للوصلة بالرغم من زيادة التيار المار فيها. كذلك يظهر هذا في المنطقة التي يحدث فيها تغير مفاجئ في المقاومة التفاضلية بحيث يحدث بعده ثبات في قيمة المقاومة التفاضلية.

ج- الكفاءة الكمية التفاضلية: تعرف الكفاءة الكمية لثنائي الليزر على أنها النسبة بين عدد الفوتونات المتولدة لكل ثانية إلى عدد أزواج إلكترون- فجوة المحقونة في النبيطة لكل ثانية. إن الكفاءة الكمية الداخلية مرتبطة بما قد يحدث في المنطقة الفعالة اي بعمر الفوتونات داخل المنطقة الفعالة، في حين أن الكفاءة الكمية الخارجية تأخذ بنظر الاعتبار العوامل أو المعاملات الخارجية مثل: الامتصاص، الانعكاس، تيار التسرب..... الخ. ويلاحظ بان الكفاءة الكمية الخارجية لليزر شبه الموصل تزداد وبشكل مفاجئ وكبير بعد العتبة، وهذا يقود إلى إدخال فكرة الكفاءة الكمية التفاضلية (والتي تكون عالية القيمة بعد العتبة $\eta_D > 0.6 W/A$) في حين أن قيمة الكفاءة الكمية الداخلية تتراوح ما بين $(0.30-0.45) W/A$ والكفاءة الكمية الخارجية بشكل عام تكون بحدود $(0.20-0.30) W/A$. ومن الواضح أن الكفاءة الكمية العالية يكون مرغوب بها عمليا. وتعطى الكفاءة الكمية التفاضلية بالعلاقة [9]:

$$\eta_D = \frac{dL}{dI} \left(\frac{W}{A} \right) \dots \dots \dots (10)$$

٤ - الجانب العملي:

الشكل (٢) يوضح الترتيب التجريبي المستخدم في دراسة الخصائص الكهربائية والضوئية لليزر DPSSFD .



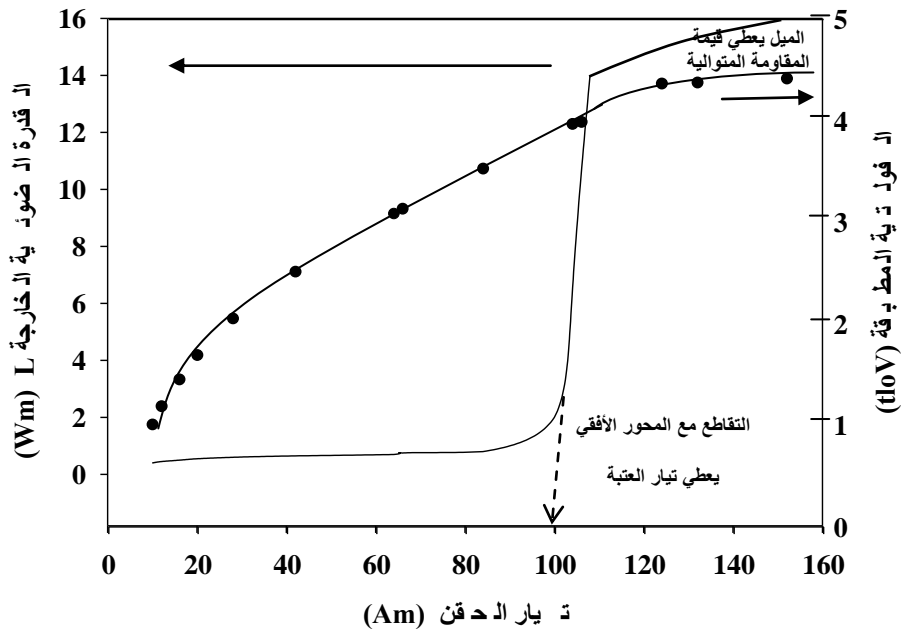
الشكل (٢) الترتيب التجريبي المستخدم في دراسة الخصائص الكهربائية والضوئية لليزر DPSSFD

يتألف هذا الترتيب التجريبي من الليزر شبه الموصل ذي تقنية DPSSFD ذي الرقم التجاري (Edmund scientific L54-101Green DPSS Laser Pointer) يعطي ضوء اخضر بطول موجي (532nm) والقدرة الضوئية له تصل الى اكثر من (10mW). تم استخدام مصدر للتيار (Current control) (يتم ضبطه وتغييره يدويا) وذلك لتزويد الليزر بالتيار اللازم لتشغيله ومقدار الدقة في التيار تصل إلى 0.1mA وتم ربط اميتر حساس (Multi-meter) لقياس مقدار التيار المار في الليزر، فيما تم ربط فولتميتر أيضا على التوازي مع نبيطة الليزر لقياس مقدار الجهد المسلط على الليزر. في المقابل تم استخدام كاشف ضوئي من نوع PIN لاستلام ضوء الليزر والكشف عنه ذي الرقم (PBX65) حيث يقوم بتحويل الضوء المكشوف الى تيار يتم التحسس به عن طريق تحويله الى فرق جهد وذلك بعد مروره بمقاومة الحمل R_L ومن ثم وبحسابات بسيطة يمكن تحويل هذه الفولتية الى مايقابلها من قدرة ضوئية وذلك لمعرفة مقدار القدرة الضوئية المنبعثة من الليزر مع تغير التيار. ان كلا من الليزر DPSS والكاشف تم وضعهم على حامل ذي تغيير دقيق ثلاثي الأبعاد وذلك لتحقيق دخول ضوء الليزر بالكامل إلى الكاشف.

٥ - النتائج والمناقشة:

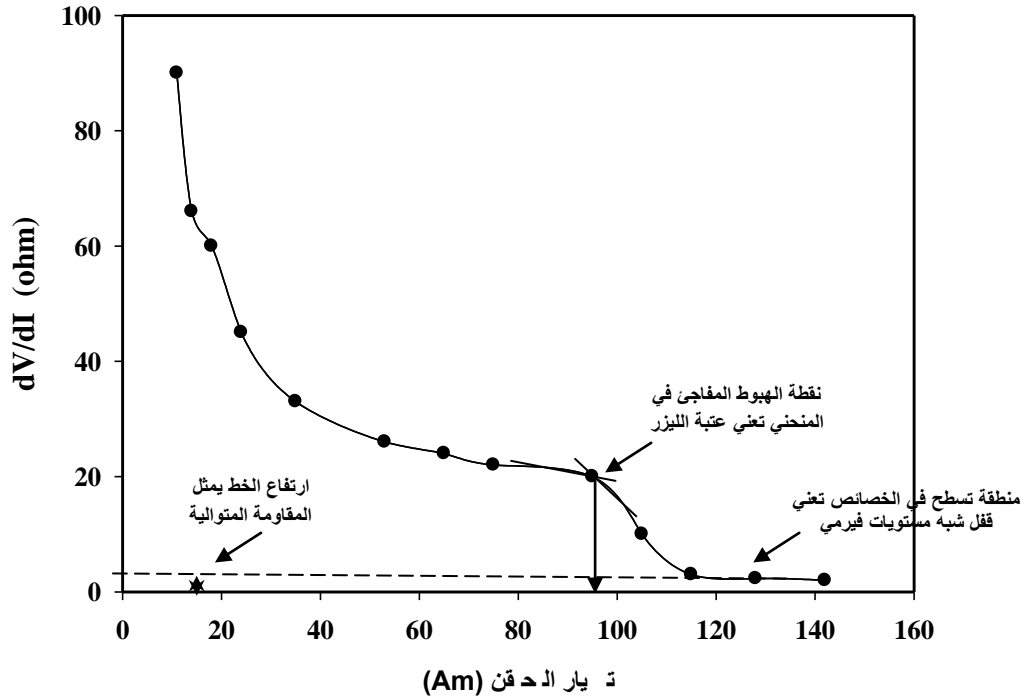
الشكل (٣) يمثل العلاقة بين الفولتية المسلطة على نبيطة الليزر DPSSFD (المحور العمودي الأيمن) وتيار الحقن، إذ يلاحظ من هذا الشكل ومن البداية أن زيادة التيار المحقون يتبعها زيادة ملحوظة في الفولتية للوصلة إلى أن تصل الفولتية المسلطة على الثنائي إلى قيمة تقريبية قدرها (3.75V) وتيار مقابل قدره (98mA) يلاحظ ثبوت (نسبي) في فولتية الوصلة على الرغم من زيادة التيار مما يدل على انه وبعد هذا التيار (98mA) يحصل قفل لشبه مستويات فيرمي لليزر شبه الموصل وان اي زيادة في عدد الحاملات المحقونة للنبيطة (الالكترونات او فجوات) سوف يحصل لها إعادة اتحاد سريعة جدا بسبب الانبعاث المحفز مما يزيد من القدرة الضوئية المنبعثة من الليزر، اي يمكن القول بان قيمة التيار الذي بعده تحدث زيادة كبيرة في نسبة الانبعاث المحفز هو (98mA) وهذا التيار يمثل تيار العتبة لليزر DPSSFD وهذه أول طريقة لتعيين تيار العتبة. كما ان الميل لهذا المنحني وفي منطقة التيارات العالية (منطقة الثبوت النسبي للفولتية) يمكن من خلاله معرفة المقاومة المتواليّة لنبيطة الليزر ووجد أنها تساوي $R_s=6.6\Omega$.

أيضا يلاحظ من الشكل (٣) العلاقة بين القدرة الضوئية المنبعثة من الليزر (المحور العمودي الأيسر) وتيار الحقن. من هذه العلاقة يمكن ملاحظة حصول تغير مفاجئ في القدرة الضوئية المنبعثة اذ تزداد القدرة المنبعثة من الليزر وبشكل كبير مع زيادة طفيفة في تيار الحقن وهذا يحصل بعد تيار الحقن الذي مقداره (99mA) وتم إيجاد قيمة هذا التيار وذلك بإسقاط امتداد.



الشكل (٣): العلاقة بين الفولتية المطبقة والقدرة الضوئية المنبعثة مقابل تيار الحقن لليزر DPSSFD

المنطقة الخطية التي يحصل بعدها الزيادة الملحوظة في القدرة الضوئية على المحور الأفقي للتيار ليمثل هذا التيار تيار العتبة لليزر المستخدم. كذلك يمكن إيجاد الكفاءة الكمية η_D من هذا الرسم البياني بالاعتماد على المعادلة (١٠) وفي المنطقة الخطية ذات القدرة العالية (تيار الحقن فوق 100mA) ووجد أنها تساوي $\eta_D=0.66W/A$ وهي كفاءة جيدة مقارنة بالليزر الأحمر والذي لا تتجاوز الكفاءة التفاضلية له $0.40W/A$ [10]. كذلك يمكن من هذا المنحني تحديد القدرة الضوئية العظمى التقريبية لهذا الليزر من اعلى نقطة للمنحني والذي بعده تحصل حالة الاشباع وأخذ ما يقابله في محور القدرة الضوئية ووجد أنها تساوي 14mW. فيما لا تتجاوز القيمة العظمى للقدرة الضوئية المنبعثة لمعظم الليزر التجاري ذي اللون الأحمر 1mW. وبطريقة عددية بسيطة يمكن إيجاد المشتقة الأولى للفولتية المطبقة مع التيار dV/dI لقيم محددة من التيار وعند رسم العلاقة بينهما يظهر الشكل (٤).

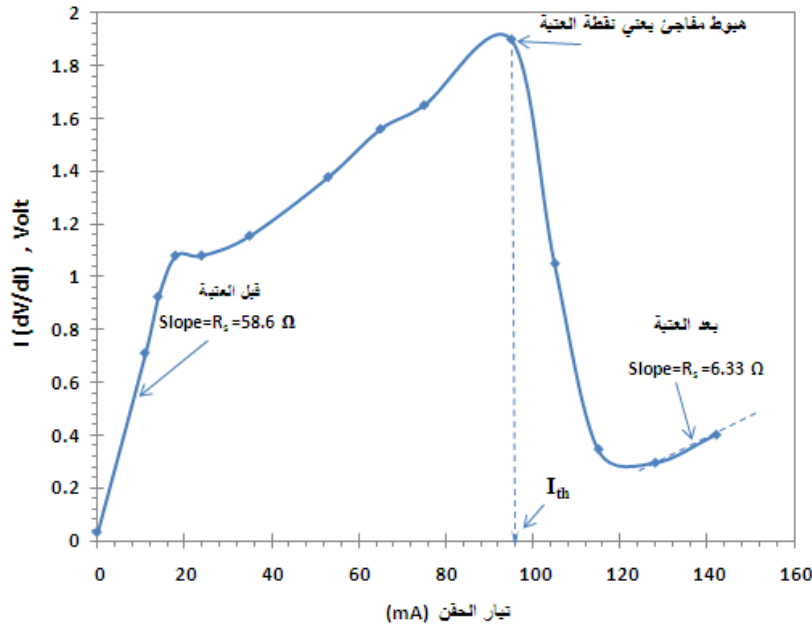


الشكل (٤): العلاقة بين المشتقة الأولى للفولتية بالنسبة للتيار مع تيار الحقن لليزر DPSSFD لتعيين تيار العتبة والمقاومة المتوالية.

يمكن من هذا الشكل تحديد وإيجاد تيار العتبة لليزر حيث يلاحظ وفي نقطة معينة من التيار حصول هبوط حاد في الانحدار لمنحني المشتقة dV/dI ، ان هذا الهبوط الحاد والمفاجئ ناتج عن الزيادة الكبيرة في نسبة الانبعاث المحفز والتي تؤثر بشكل كبير على قفل شبه مستويات فيرمي عند ثبوت عدد الحاملات المتواجدة داخل المنطقة الفعالة عند العتبة. ويتم تحديد النقطة التي يبدأ عندها المنحني dV/dI بالانحدار السريع وذلك من تقاطع المماسين

للمنحنيين اللذان يمثلان منطقة الانحدار البطيء ومنطقة الانحدار السريع ومن ثم يرسم خط عمودي من نقطة التقاطع يتم إسقاطه على المحور الأفقي للتيار ليتم تحديد تيار العتبة وهنا تم إيجاد تيار العتبة وقيمتها (96mA) وهذه طريقة أخرى لتحديد تيار العتبة . بعد منطقة الهبوط السريع في المنحني يلاحظ عودة المنحني إلى الثبات عند قيمة معينة مع زيادة التيار وارتفاع الخط المماس لمنطقة الثبات هذه يمكن إيجاد المقاومة المتوالية لنبيطة الليزر DPSSFD وفي منطقة الانبعث المحفز وكانت تساوي (4.5Ω).

الشكل (٥) يوضح العلاقة بين $I \frac{dV}{dI}$ مع تيار الحقن . وهذه العلاقة يمكن أن تزودنا بمعلومات إضافية وبالإستفادة من المعادلة (٤) . حيث يمكن أيضاً تحديد تيار العتبة وذلك في نقطة الهبوط السريع والحاد في المنحني ووجد هنا أنه يساوي (96mA) . ويمكن تمييز منطقتي الانبعث التلقائي (قبل العتبة) ومنطقة الانبعث المحفز (بعد العتبة) وهو يشابه سلوك الثنائي الاعتيادي حيث تكون قيمة المقاومة كبيرة في منطقة التوليد وإعادة الاتحاد (وهو ما يقابل منطقة الانبعث التلقائي في ثنائي الليزر) وتكون المقاومة صغيرة في المنطقة الخطية والتي تظهر فيها مقاومة الثنائي وهو ما يقابل منطقة الانبعث المحفز في ثنائي الليزر، ويمكن إيجاد المقاومة المتوالية قبل العتبة ووجد أنها تساوي (58.6Ω) أما المقاومة المتوالية بعد



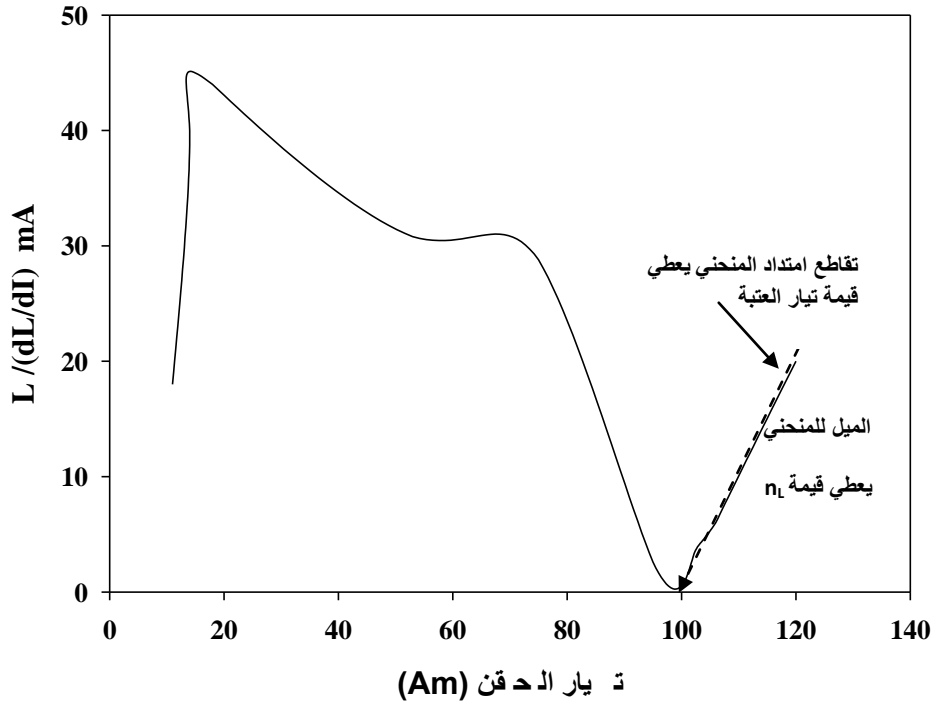
العلاقة

الشكل (٥):

بين $I \frac{dV}{dI}$ والتيار الحقن لإيجاد المقاومة المتوالية قبل وبعد العتبة وكذلك تحديد تيار العتبة

العتبة فوجدت أنها تساوي (6.33Ω) وهذه القيمة مقارنة لقيمتها التي وجدت باستخدام الشكل (٤). ان الشكل (٥) يمثل أيضا رسما للمعادلة (٤) وتقاطع امتداد المنحني مع المحور العمودي يمكن من خلاله إيجاد عامل المثالية الكهربائي لنبيطة الليزر DPSSFD إذ أن المقطع يساوي $\frac{nkT}{q} = 0.03$ حيث ان $T=308k$ لذلك فقيمة عامل المثالية الكه رائي لهذا الليزر تساوي $(n=1.15)$.

الشكل (٦) يمثل العلاقة بين $L/(dL/dI)$ و تيار الحقن، ومن هذا الشكل يمكن أيضا إيجاد تيار العتبة من خلال تقاطع امتداد المنطقة الخطية للمنحني بعد العتبة وهنا قيمة تيار العتبة وجد انها تساوي $(97mA)$.



الشكل (٦): العلاقة بين $L/(dL/dI)$ و تيار الحقن لإيجاد تيار العتبة وعامل المثالية الضوئي

يلاحظ من هذا الشكل أن هناك انقلاب بعد القيمة الدنيا للمنحني وهذا الانقلاب من القيمة الدنيا ثم يبدأ المنحني بالارتفاع ناتج عن الزيادة الكبيرة والمفاجئ في القدرة الضوئية المنبعثة من الليزر بعد العتبة وهناك تقريبات كثيرة لهذا السلوك وضحت نظريا وبالتفصيل من قبل الباحث T. L. Paoli [10]، حيث وضح بالتفصيل التغيرات التي تحدث في خصائص الضوء لتحديد تيار العتبة.

بالاستفادة من المعادلة (٦) والشكل (٦) يمكن إيجاد عامل المثالية الضوئي لليزر DPSSFD وذلك من ميل المماس للمنحني فوق العتبة وهنا نجد ان :

$$\text{Slope} = 0.961 = \frac{n_L}{n} \Rightarrow n_L \cong 1$$

وهذا يدل على ان هذا النوع من الليزر يكون ذو خصائص ضوئية نموذجية وقريبة من المثالية.

ويلاحظ تقارب قيمتي عامل المثالية الضوئي والكهربائي وهذا يتحقق إذا كانت عملية إعادة الاتحاد إشعاعية بالكامل. ويمكن تلخيص النتائج الخاصة بإيجاد تيار العتبة (وبالطرق الخمسة) والمقاومة المتواليّة (بثلاث طرق) كما في الجدول رقم (1) الموضح أدناه:

جدول (1): ملخص للقيم التي تم إيجادها لتيار العتبة والمقاومة المتواليّة وبعدها تقنيات

| التقنية المستخدمة | تيار العتبة لليزر DPSS (mA) | المقاومة المتواليّة (Ω) |
|-----------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| L – I characteristics | 99 | ---- |
| V – I characteristics | 98 | 6.6 |
| dV/dI vs I | 96 | 4.5 |
| IdV/dI vs I | 96 | 6.33 |
| L/(dL/dI) vs I | 97 | ---- |

٦ - الاستنتاجات:

على ضوء النتائج التي تم الحصول عليها من دراسة الخصائص الكهربائية والضوئية لليزر DPSSFD ومن خلال الحسابات العددية لمشتقاتها تم إيجاد المعلمات الخاصة بهذا الليزر وهي: تيار العتبة (بخمسة طرق)، المقاومة المتواليّة (بثلاث طرق)، منطقة قفل شبه مستويات فيرمي، الكفاءة الكمية التفاضلية، عامل المثالية الضوئي، عامل المثالية الكهربائي، أقصى قدرة ضوئية منبعثة من الليزر. ووجد بان هذه الطرق جيدة في تحديد المعلمات المهمة لليزر اذ وجد بان تيار العتبة لليزر DPSSFD وباستخدام الطرق الخمسة تتراوح قيمته ما بين 96 ~ 99 mA فيما تم إيجاد المقاومة المتواليّة لنبيطة الليزر وفي منطقة العمل فوق العتبة ووجد بانها تتراوح قيمتها بين $4.5 \sim 6.6 \Omega$. كذلك تم تعيين منطقة قفل شبه مستويات فيرمي عن طريق تحديد منطقة الهبوط السريع في الانحدار للمشتقة dV/dI وكذلك من خصائص V-I وكان مقدار الفولتية التي يحدث بعدها قفل لشبه مستويات فيرمي بحدود $(V_f) > 3.5$ V. تم إيجاد القدرة القصوى المنبعثة من الليزر وكانت قيمتها 14mW فيما وجد إن الكفاءة الكمية التفاضلية لهذا الليزر مرتفعة ومقدارها 0.66W/A. عامل المثالية الضوئي n_L وجد بان قيمته تقريبا مساوية لقيمة عامل المثالية الكهربائي n وقيمته (1).

References :

المصادر:

- 1) U. Steegmüller, M. Kühnelt, H. Unold, T. Schwarz, R. Schulz, S. Illek, I. Pietzonka, H. Lindberg, M. Schmitt, U. Strauss." Green laser modules to fit laser projection out of your pocket", Solid State Lasers XVII: Technology and Devices edited by W. Andrew Clarkson, Norman Hodgson, Ramesh K. Shori Proc. of SPIE Vol. 6871, 687117, (2008).
- 2) G. Maccioni¹, C. Martínez de Marigorta, Q. Chen, S. Ferrero, L. Scaltrito, G. Grange, A. Nesca, A. Chiolerio, P. Pandolf, "Study of micro-structured master fabrication on Nickel alloy by DPSS laser ablation technique", Proceedings of the Fifth International WLT-Conference on Lasers in Manufacturing Munich, June (2009).
- 3) <http://www.laserfaq.org/sam/154-101>.
- 4) Y. Hoon Kwon, C. Jang, D. Shin, H. Seol and H. Kim "The applicability of DPSS laser for light curing of composite resins", Laser in medical science, Vol.23, No.4, 407-414, (2008).
- 5) M. J. Myers, J. D. Myers, B. Guo, C. Yang, C.R. Hardy, "Practical internal combustion engine laser spark plug development", SPIE Optics & Photonics Optical Technologies for Arming, Safing, Fuzing and Firing II, Aug. 28-30, San Diego, CA., (2007).
- 6) R. P. Scott, C. Langrock, and B. H. Kolner, "High-Dynamic- range Laser Amplitude and Phase Noise Measurement Techniques" IEEE JOURNAL on selected Topics in Quantum Electronics, Vol.7, No. 4, July/August (2001).
- 7) M. Ettenberga, H. F. Lockwoodab, "Low-threshold-current CW injection lasers", Fiber and integrated Optics, Volume 2 Issue 1, pages 47 – 61, (1979).
- 8) H. Mi, "Electrical and Optical Characteristics of Semiconductor Lasers Using Differential Resistance Measurements", A thesis for the Degree of Master of Science, Electrical Engineering Raleigh, North Carolina, (2008).
- 9) T. Suhara, Semiconductor Laser Fundamentals, Marcel Dekker, Inc., New York, NY 10016, U.S.A., (2004).
- 10) T.L. Paoli, "Determination of the lasing threshold in stripe-geometry double-heterostructure junction lasers," Appl. Phys. Lett., vol. 29, pp. 673-675, (1976).