

دراسة تحليلية لتأثير درجة الحرارة وتركيز الحاملات على الخواص اللاخطية لليزر أشباه الموصلات العاملة عند الأطوال الموجية تحت الحمراء القريبة

أفنان كمال يوسف*، إيفان طارق سالم* وعدي عطا حمادي**

تاريخ التسلم: ٢٠٠٤/٢/٢٩

تاريخ القبول: ٢٠٠٤/١٠/٢٦

الخلاصة

في هذا البحث جرى تقديم نتائج دراسة تحليلية لتأثير تركيز الحاملات ودرجة حرارة المنطقة الفعالة في التركيب المكون لليزر أشباه الموصلات المصنعة بنمط التركيب الهجين المزدوج أو بنمط بئر الجهد الكمي (QW) والعاملة عند الأطوال الموجية تحت الحمراء القريبة على الخواص اللاخطية المحتثة عند تشغيل مثل هذا الليزر. أوضحت النتائج ان معدل الانبعاث التلقائي ينتج بشكل أساسي عن عملية إعادة الاتحاد التلقائي فأن السلوك اللاخطي لهذه العملية يمكن ان يؤثر بشكل كبير على عمل الليزر فيحدث خللاً في تضمين الحزمة الخارجية ونوعاً من عدم الاستقرارية فيها.

Analytical Investigation for the Effect of Carrier Concentration and Temperature on the Nonlinear Properties of the Semiconductor Lasers Operating at Near – Infrared Wavelengths

Abstract

In this work, we presented results of an analytical investigation for the effect of carrier concentration and temperature of the active layer on the induced nonlinear properties of the double-heterostructure or quantum-well barrier semiconductor lasers operating at near infrared wavelengths. These results explained that the rate of amplified spontaneous emission is mainly produced from the spontaneous recombination process. Then the nonlinear behavior of such process

*وحدة أبحاث الليزر، الجامعة التكنولوجية afnan_kamal@yahoo.com
** ص.ب. ٥٥١٥٩، بغداد ١٢٠٠١ odavata2001@yahoo.com

may affect laser operation with distortion and some instability for the modulated output beam.

الإلكترونات والفجوات إلى المنطقة الفعالة فإن فرق الطاقة ما بين مستوى فيرمي للإلكترونات ومستوى الطاقة المرتبط بإعادة الاتحاد مع الفجوات يصبح أكبر وأن عدد الإلكترونات الداخلة إلى المنطقة الفعالة يتزايد. تمثل هذه الظاهرة توزيعاً معكوساً (Population inversion) للإلكترونات ما بين مستوى الطاقة. والشكل (1) يوضح تركيباً نموذجياً (a) [1] والمخطط الطاقى الأساس (b) وآلية انتقال حاملات الشحنة (e) لليزر أشباه الموصلات المصنع بنمط التركيب الهجينة. عندما يكون سمك المنطقة الفعالة صغيراً جداً فإنه يمكن حصر الحزمة الضوئية المنبعثة من خلال إضافة طبقات إضافية من المادة شبه الموصلة تمثل مناطق حصر أو توجيه للحزمة الضوئية بفعل اختلاف قيمة معامل انكسار هذه الطبقات عن معامل انكسار المنطقتين السالبة والموجبة من التركيب، وتمثل الطبقات الإضافية هذه حجرة الليزر (Laser cavity). عند قيمة معينة من التيار تسمى تيار العتبة (Threshold Current) يحدث الانبعاث المحفز بشدة عالية عند حافات الطبقات (حجرة الليزر) وهذا هو مبدأ توليد ليزر أشباه الموصلات، والشكل (2) يوضح مبدأ حد العتبة لتيار الأشغال.

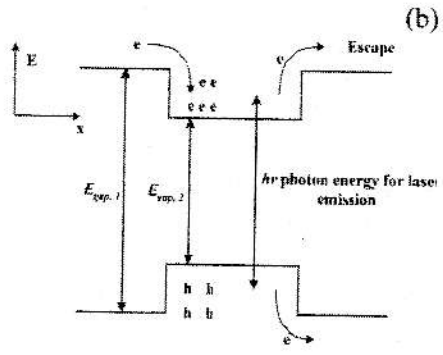
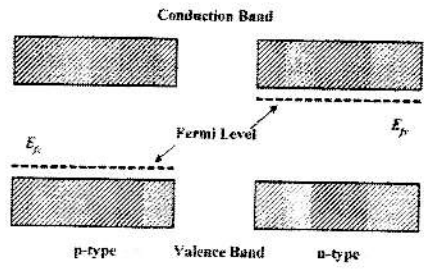
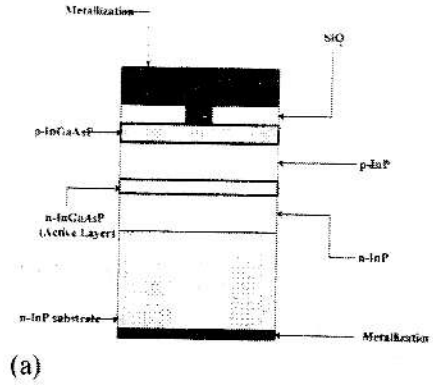
المقدمة

تعد الليزر المصنعة من ثنائيات أشباه الموصلات أحدث مصادر الحالة الصلبة حتى الآن وهي تمتاز عن غيرها من المصادر الضوئية المدمجة بسطوع (Brightness) عال جداً ومثانة (Durability) فائقة، لذلك أصبحت هذه الليزر عناصر مثالية لبناء منظومات الاتصالات الضوئية بالإضافة إلى تطبيقات كافة مجالات العلم والتقنية تقريباً.

يتألف الثنائي الباعث للضوء (LED) بشكل مبني من منطقة فعالة من المادة شبه الموصلة المعتمدة لبناء هذا الثنائي تتوسط منطقتين من المادة شبه الموصلة نفسها تكون أحدهما سالبة (n-type) والأخرى موجبة (p-type). عند تسليط فولتية على الوصلة (Junction) المتكونة فإن الإلكترونات تتحرك من المنطقة السالبة إلى داخل حزمة التوصيل للمنطقة الفعالة بينما تتحرك الفجوات (Holes) من المنطقة الموجبة إلى داخل حزمة التكافؤ للمنطقة الفعالة. يحدث انبعاث الضوء من المنطقة الفعالة (n-InGaAsP) في الشكل (1a) عندما تتم عملية إعادة اتحاد (Recombination) ما بين الإلكترونات الموجودة في أسفل حزمة التوصيل والفجوات الموجودة في أعلى حزمة التكافؤ. عند دخول أعداد أكثر من

شكل (1) يوضح تركيباً نموذجياً (a) والمخطط الطاقى الأساس (b) وآلية انتقال حاملات الشحنة (c) لليزر أشباه الموصلات المصنع بنمط التركيب الهجينة

في هذا البحث تم إجراء دراسة تحليلية لتأثير درجة حرارة المنطقة الفعالة في تركيب المكون لليزر أشباه الموصلات وكذلك تركيز حاملات على الخواص اللاخطية المحتثة عند تشغيل مثل هذا الليزر. اعتمدت هذه الدراسة على تركيب ليزر أشباه الموصلات المصنع على قاعدة فوسفيد الإنديوم (InP) وتطعيم بمادة زرنيخيد الكاليوم (GaAs) على فرض إن هذا التركيب يكون خال من الألمنيوم. إن ليزرات أشباه الموصلات التي تخلص من الألمنيوم وتعتمد على تركيب (GaAsP/InP) تمتاز بكفائتها العالية للأستخدام كمصادر ضوئية عند الطول الموجي (980nm) فما فوق وكذلك مضخمات ليزرات أشباه الموصلات [2-9]. عند المقارنة ما بين الليزرات العاملة بتركيب يخلص من الألمنيوم وراكيب (AlGaAs/GaAs) التي تعمل عند نفس الأطوال الموجية، فإن الأولى تمتاز بمعدل تسخين أوطأ زحيد عتبة تلف (Damage Threshold) أكبر مقاومة كهربائية وحرارية واطئة، كما أن تقنية إنمائها تكون أسهل وموثوقيتها أعلى



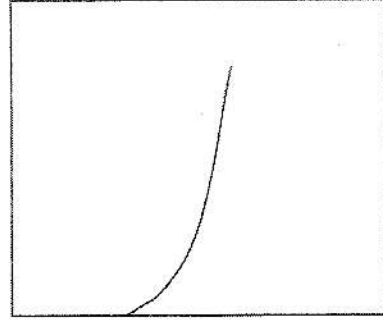
الوصلة (Junction) الى شعاع ليزر ولكن هنالك جزء معين من هذه الطاقة لا يتم تحويله الى ليزر بسبب طيف الريح المتسع نوعاً ما وزاوية الانفراج الكبيرة للخروج البصري. أن هذا التأثير يصبح أكثر قوة وتأثيراً في ليزرات أشباه الموصلات العاملة عند الأطوال الموجية الطويلة بسبب التزايد الاسي تقريباً لمعدل إعادة الاتحاد مع تناقص قيمة فجوة الطاقة.

إن تأثير تضخيم الانبعاث التلقائي (ASE) يمكن أن يصبح من الناحية العملية واحداً من عمليات إعادة الاتحاد التي تسيطر على عمل التركيب عند الأطوال الموجية المستخدمة في منظومات الاتصالات البصرية [12]. وفي مثل هذه الليزرات يقتصرن تأثير عملية تضخيم الانبعاث التلقائي (ASE) بتأثير درجة حرارة التركيب بسبب ميزة هذه النبائط بأن حد العتبة لكثافة تيار توليد الليزر يعتمد بشكل كبير على درجة حرارة التركيب [13].

إن معدل تضخيم الانبعاث التلقائي (ASE) يعتمد بشكل لاخطي على تركيز الحاملات في المنطقة الفعالة لذلك فإن عملية التضخيم هذه تمثل احد مصادر السلوك اللاخطي لليزرات أشباه الموصلات، وان شدة تضخيم الانبعاث التلقائي (ASE) تتناسب مع الاس الرابع تقريباً لتركيز الحاملات، وفي حالة الليزرات المصنعة بنمط بنر

خاصة عند التشغيل عند قدرات عالية [3-6].

Power



Current

شكل (2) مبدأ حد العتبة لتيار الأشغال

يمكن أن تمتلك عملية تضخيم الانبعاث التلقائي (ASE) داخل حجرة الليزر - والتي يرمز لها اختصاراً (ASE) - تأثير ملحوظاً على حد عتبة الأشغال وقدرة الخرج والخواص الديناميكية لليزرات أشباه الموصلات، وفي حالات كثيرة تعد عملية تضخيم الانبعاث التلقائي (ASE) واحدة من المشكلات التي لا يمكن تجاوزها في هذه الليزرات. تؤدي هذه العملية الى توسيع طيف انبعاث الليزر ونقل بشكل كبير كثافة الحاملات في المنطقة الفعالة [10-12]. أن تركيب وابعاد ثنائي أشباه الموصلات المنتج لليزر يحدد عملية تحويل الطاقة الكهربائية المسلطة على

$$\left\{ f_c \left(E_m + \frac{m_{cv}}{m} (h\nu - E_g) \right) + f_v \left(E_m - \frac{m_{cv}}{m} (h\nu - E_g) \right) \right\} \quad (2)$$

حيث

$$f_c(E) = \left[1 + \exp \left(\frac{E - E_{fc}}{KT} \right) \right]^{-1} \quad (3a)$$

$$f_v(E) = \left[1 + \exp \left(\frac{E_{fv} - E}{KT} \right) \right]^{-1} \quad (3b)$$

$$m_{r,v} = \frac{m_c m_v}{m_c + m_v} \quad (3c)$$

يمثل E_{fc} و E_{fv} طاقة مستوي فيرمي في حزمة التوصيل والتكافؤ على التوالي، E_g فجوة الطاقة، E_{co} و E_{fo} حافتي حزمة التوصيل وحزمة التكافؤ على التوالي، K ثابت بولتزمان، T درجة الحرارة المطلقة، m_c الكتلة الفعالة للألكترون، m_{hh} الكتلة الفعالة للفجوة الثقيلة و m_{lh} الكتلة الفعالة للفجوة الخفيفة و A معامل تحسب قيمته وفقاً للعلاقة العامة ما بين قمة طيف الربح وقمة طيف إعادة الاتحاد التلقائي [10-11]. يتم تحديد طاقة مستوي فيرمي من خلال معادلة تعادل الشحنة لفرق محدد ما بين تركيز الحاملات في الجزء القابل (N_D)

الجهد الكمي (Quantum Well) فإن تضخيم الانبعاث التلقائي (ASE) يظهر مزايا لاخطية إضافية تماثل القفزة الحاصلة في نمط الليزر والتي تتساظر الانتقال ما بين الحزم الثانوية العليا لبيز الجهد الكمي لحزمتي التوصيل والتكافؤ.

التحليل

يعطى معدل تضخيم الانبعاث التلقائي (ASE) كالآتي:

$$R = \int_{h\nu_1}^{h\nu_2} \frac{G(h\nu) r_{sp}(h\nu)}{\alpha_{los}(h\nu) - G(h\nu)} d(h\nu) \quad (1)$$

حيث $h\nu$ هي طاقة الفوتون المنبعث و $r_{sp}(h\nu)$ هو معدل إعادة الاتحاد التلقائي في المنطقة الفعالة المنتجة و $\alpha_{los}(h\nu)$ هي الخسائر الناجمة عن تحويل جزء الطاقة الكهربائية المسلطة التي شدة انبعاث تلقائي (شدة الاستضاءة) و $G(h\nu)$ هو معامل الربح و $h\nu_1$ و $h\nu_2$ هما حدود الطول الموجي الطويل والقصير لطيف الانبعاث التلقائي على التوالي.

تعطى قيمة معدل إعادة الاتحاد التلقائي في المنطقة الفعالة لليزر $r_{sp}(h\nu)$ كالآتي [14-17]:

$$r_{sp}(h\nu) = A \sqrt{h\nu - E_g} \left\{ \sum_{\nu=hh,lh} (2m_{r,\nu})^{3/2} \right\}$$

حيث v هي سرعة المجموعة (Group velocity) و ΔE_f فرق الطاقة ما بين مستويي فيرمي.

يمكن تقسيم المعدل الكلي لتضخيم الانبعاث التلقائي (ASE) إلى جزئين: الأول موجب يرتبط بتضخيم الانبعاث التلقائي في المنطقة الفعالة المنتجة لليزر عند شروط محددة لحقن الحاملات وهذا الجزء يسبب زيادة في قيمة حد العتبة. أما الجزء الثاني فيكون سالب ويرتبط بإعادة امتصاص الضوء في المنطقة الفعالة نفسها، لذلك فإن السالب من معدل تضخيم الانبعاث التلقائي يمكن اعتباره مصدراً إضافياً لرفع قيمة التوزيع المعكوس.

النتائج والمناقشة

جرى اعتماد التركيب $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{P}_{1-y}$ و InP والقيم النموذجية المبينة في الجدول (1) لمعاملات ليزر التركيب الهجين المزوج ذي الطبقة الفعالة السميكة (Thick) والذي يعمل عند الطول الموجي ($1.3\mu\text{m}$) عند القيم التركيبية ($x=0.72, y=0.6$) ويعمل عند الطول الموجي ($1.55\mu\text{m}$) عند القيم التركيبية ($x=0.58, y=0.9$) [18]. تم افتراض أن درجة حرارة التركيب تكون $(200, 300, 400)\text{K}$ وأن قيمة العدد الموجي لخسائر الطاقة ($\alpha_{100}=66\text{cm}^{-1}$) وهذه القيمة تتناظر أبعاد مرنان بصري بحدود (300-

وتركيزها في الجزء المانح (N_d) أي ($N_d - N_d$).

يعطى معدل عملية إعادة الاتحاد التلقائي في حالة ليزرات أشباه الموصلات المصنعة بنمط بئر الجهد الكمي (QW) كالآتي:

$$r_{sp}(h\nu) = A_{QW} \sum_{i=1}^2 \sum_{h,h',l,l'} m_i H(h\nu - \Delta E_{i,\nu}) * f_c(E_{c,i,\nu}) \quad (4)$$

حيث

$$E_{c,i,\nu} = \frac{m_{r,\nu}}{m_c} (h\nu - \Delta E_{i,\nu}) \quad (5a)$$

$$E_{v,i,\nu} = \frac{m_{r,\nu}}{m_v} (h\nu - \Delta E_{i,\nu}) \quad (5b)$$

$$H(z) = \begin{cases} 1 & z \geq 0 \\ 0 & z < 0 \end{cases} \quad (5c)$$

تمثل (ΔE) الفروقات ما بين مستويات الطاقة، و A_{QW} معامل تحسب قيمته بنفس الطريقة التي مرت سابقاً في حساب المعامل A . يمكن تمثيل دالة الربح $G(h\nu)$ بالمعادلة الآتية:

$$G(h\nu) = r_{sp}(h\nu) \frac{v^2}{8\pi\nu^2} \left[\exp\left(\frac{h\nu - \Delta E_f}{KT}\right) - 1 \right] \quad (6)$$

العتبة	
معدل إعادة الاتحاد اللاشعاعي	$10^8 s^{-1}$
معامل إعادة الاتحاد الإشعاعي	$10^{-10} cm^3/s$
معامل إعادة اتحاد أوجير	$10^{-29} cm^6/s$

نفترض ان العلاقة ما بين معدل تضخيم الانبعاث التلقائي ودرجة الحرارة وتركيز الحاملات تمثل بمتعددة حدود (Polynomial) وكالاتي:

$$R(n, T) = A_2(T) + A_1(T)(n - n_c) + A_2(T)(n - n_c)^2 + A_3(T)(n - n_c)^3 \quad (7)$$

تعتمد قيم الدوال (A_1, A_2, A_3, A_0) وتركيز الالكترونات (n_0) في حالة الشفافية (Transparency) على درجة حرارة المحيط. في ثنائيات الليزر العاملة عند الطول الموجي ($1.55\mu m$) حيث ($N_a - N_d = 0$) تعطى قيم الدوال أعلاه كالاتي:

$$A_1(T) = 3.8 \times 10^{29} - 6.45 \times 10^{27} T + 2.6 \times 10^{25} T^2$$

$$A_2(T) = 4.85 \times 10^6 - 84497.147 T$$

$$A_3(T) = 1.2 \times 10^{-15} - 6.74 \times 10^{-18} T + 1.71 \times 10^{-20} T^2 - 1.37 \times 10^{-23} T^3$$

$$A_0(T) = 1.33 \times 10^{-30} + 3.58 \times 10^{-40} \exp[(200 - T) / 69.58]$$

$$n_c(T) = -3.71 \times 10^{23} + 3.88 \times 10^{23} T$$

اعتماد معدل تضخيم الانبعاث التلقائي (ASE) على درجة الحرارة يتأثر

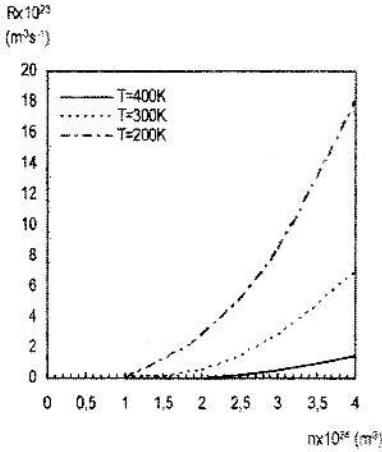
$400\mu m$ طولا و $(40-100 \mu m)$ عرضاً.

جدول (1) القيم النموذجية لمعاملات ليزر

القيمة	المعاملات
$250\mu m$	طول الحجر
$15.8mA$	تيار العتبة
$2.5 \times 10^{-16} cm^2$	ثابت الربح
0.3	معامل الحصر
$45 cm^{-1}$	الخسائر السطحية
$40 cm^{-1}$	الخسائر الداخلية
1.6ps	فترة حياة الفوتون
$0.2\mu m$	سمك المنطقة الفعالة
$2\mu m$	عرض المنطقة الفعالة
3.4	معامل الانكسار الفعال
5	عامل تحسين عرض الخط
2.14×10^8	كثافة الحاملات عند العتبة
$10^{18} cm^{-3}$	كثافة الحاملات عند الشفافية
2.2ns	فترة حياة الحاملات عند

ان الحد ذي المرتبة الثانية يكون هو الأكثر تأثيراً في متعددة الحدود. إن

إن واحدة من الخصائص الأساسية لمعدل تضخيم الانبعاث التلقائي (R) هو الاعتماد اللاخطي الكبير على تركيز الحاملات ودرجة الحرارة. أوضحت نتائج التحليل أن معدل تضخيم الانبعاث التلقائي عند درجة حرارة ($T=300K$) يعتمد بشكل متماثل على تركيز الحاملات عند كلا الطولين الموجيين ($1.3\mu m$) و ($1.55\mu m$). أما عند درجة حرارة ($T=400K$) فإن معدل تضخيم الانبعاث التلقائي يزداد بشكل أسرع مع تركيز الحاملات عند الطول الموجي ($1.55\mu m$)، كما في الإشكال (3-8).



شكل (3) تغير قيمة (R) مع قيمة (n) عند الطول الموجي ($1.3\mu m$) لليزر InGaAsP/InP لثلاث قيم مختلفة

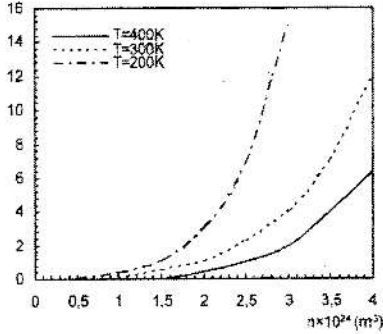
بالفرق ما بين تركيزي الحاملات في المنطقتين القابلة والمانحة (N_a-N_d) إذ كلما كانت قيمة هذا الفرق كبيراً فإن قيمة المعدل (R) تكون أكبر عند قيمة محددة لدرجة الحرارة.

يوضح الشكل (3) تغير قيمة معدل تضخيم الانبعاث التلقائي (R) مع تركيز الإلكترونات (n) عند الطول الموجي ($1.3\mu m$) لليزر InGaAsP/InP لثلاث قيم مختلفة لدرجة حرارة التركيب عندما يكون الفرق ($N_a-N_d=0$). فيما يوضح الشكل (4) تغير قيمة معدل تضخيم الانبعاث التلقائي (R) مع تركيز الإلكترونات (n) عند الطول الموجي ($1.3\mu m$) لليزر InGaAsP/InP لثلاث قيم مختلفة لدرجة حرارة التركيب عندما يكون الفرق ($N_a-N_d=10^{24} \text{ cm}^{-3}$) (يوضح الشكلان (5) و (6) نفس العلاقة في الشكلين (3) و (4) ولكن عند الطول الموجي ($1.55\mu m$)).

أما الشكل (7) فإنه يمثل تغير معدل تضخيم الانبعاث التلقائي (R) مع تركيز الإلكترونات (n) عند الطول الموجي ($1.3\mu m$) وقيمتين مختلفتين للفرق (N_a-N_d). والشكل (8) يمثل نفس العلاقة في الشكل (7) ولكن عند الطول الموجي ($1.55\mu m$). والشكلان (9) و (10) يوضحان نفس العلاقة في الشكلين (7) و (8) عند درجة حرارة ثابتة ($T=300K$) للمنطقة الفعالة المولدة لليزر في تركيب بئر الجهد الكمي (QW).

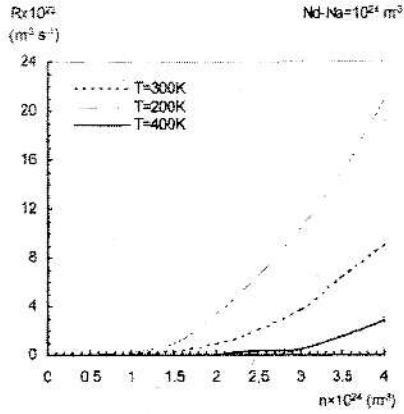
لدرجة حرارة التركيب عندما يكون الفرق $(N_a - N_d = 0)$

$R \times 10^{23}$
($m^3 s^{-1}$)



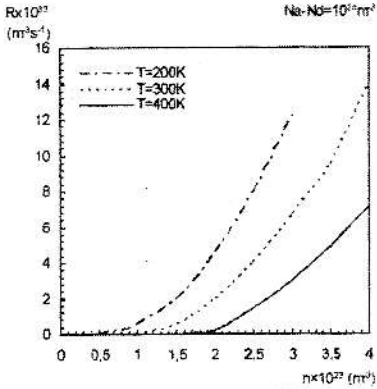
شكل (5) تغير قيمة (R) مع قيمة (n) عند الطول الموجي $(1.55 \mu m)$ لليزر InGaAsP/InP لثلاث قيم مختلفة لدرجة حرارة التركيب عندما يكون الفرق $(N_a - N_d = 0)$

$R \times 10^{23}$
($m^3 s^{-1}$)



شكل (4) تغير قيمة (R) مع قيمة (n) عند الطول الموجي $(1.3 \mu m)$ لليزر InGaAsP/InP لثلاث قيم مختلفة لدرجة حرارة التركيب عندما يكون الفرق $(N_a - N_d = 10^{24} cm^{-3})$

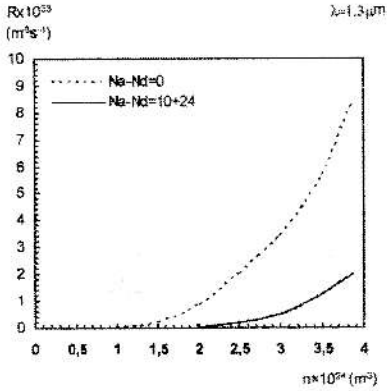
$R \times 10^{23}$
($m^3 s^{-1}$)



شكل (6) تغير قيمة (R) مع قيمة (n) عند الطول الموجي $(1.55 \mu m)$ لليزر InGaAsP/InP لثلاث قيم مختلفة

يلاحظ أن معدل تضخيم الانبعاث التلقائي يقل بشكل كبير مع ازدياد درجة الحرارة وان ذلك يكون مصحوباً بزيادة في قيمة حد العتبة لتكيز الحاملات والخسائر داخل الحجرة، ونتيجة لذلك فإن تأثير تضخيم الانبعاث التلقائي (ASE) على خصائص التثني المنتج لليزر مثل حد العتبة وقدره الخرج سوف يبدأ بالازدياد.

(LHM). إن تقليل قيمة معدل الانبعاث التلقائي نسبياً تسمح لعدد أكبر من الحاملات بالمساهمة في الفعل الليزري عند تردد وبالتالي تكوين منطقة اشتغال جديدة أكثر استقراراً.

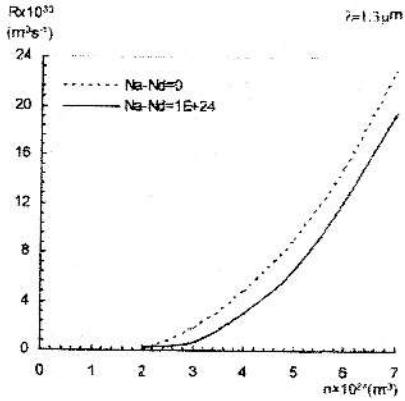


شكل (7) تغير معدل تضخيم الانبعاث التلقائي (R) مع تركيز الإلكترونات (n) عند الطول الموجي ($1.3\mu\text{m}$) وقيمتين مختلفتين للفرق (N_a-N_d)

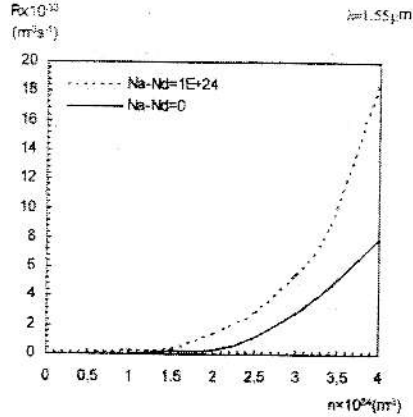
درجة الحرارة عندما يكون الفرق ($N_a-N_d=10^{24}\text{cm}^{-3}$)

في حالة ليزرات أشباه الموصلات المصنعة بنمط بئر الجهد الكمي (QW)، تختلف اعتمادية كل من إعادة الاتحاد التلقائي والريح عما هي عليه في ليزرات التراكيب الهجينة التي تم تناولها سابقاً إذ أن هناك عدة قمم (Peaks) ضمن الحزمة الواحدة ترتبط بالانتقالات البصرية ما بين الحزم الثانوية المختلفة. بينما تكون هناك قمة واحدة فقط للريح في ليزرات التراكيب الهجينة المزوجة. مع ازدياد كثافة الحاملات فإن ذروة الريح تقفز على قمم الريح باتجاه الطاقات الأعلى وهذا يؤدي إلى حدوث ظاهرة القفز في نمط الليزر (LHM) [18]، وإن منحني طيف الريح يتسع بشكل سريع نوعاً ما قبل أن يرتفع بالقرب من ذروة الريح. يتضح من الشكلين (9) و (10) أن معدل تضخيم الانبعاث التلقائي (R) في ليزر أشباه الموصلات المصنع بنمط بئر الجهد الكمي (QW) يزداد لاختطياً مع ازدياد حقن الحاملات (Carrier injection) إلى المنطقة الفعالة المولدة لليزر وكما في ليزرات التراكيب الهجينة المزوجة. بينما في الليزر المصنع بنمط بئر الجهد الكمي (QW) توجد عدة ذروات لمنحني تضخيم الانبعاث التلقائي والتي كما أسلفنا أنها تتبع حالة القفز في نمط الليزر.

فيحدث خلا في تضمين الحزمة ونوعاً من عدم الاستقرارية فيها. يمكن الاعتماد على النتائج المقدمة في هذا البحث لدراسة حد عتبة الاشتغال للثنائي الليزر على درجة الحرارة وبناء نماذج محاكاة لتراكيب أخرى مماثلة من حيث المبدأ الأساس للتركيب المستخدم في هذا البحث. لم يتم تطبيق هذه التحليلات عملياً من قبل الباحثين، ولكن تم مقارنتها بنتائج عملية مقدمة في المصادر [2-9].



شكل (9) تغير معدل تضخيم الانبعاث التلقائي (R) مع تركيز الالكترونات (n) عند الطول الموجي ($1.3 \mu\text{m}$) عند درجة حرارة الغرفة ($T=300\text{K}$)

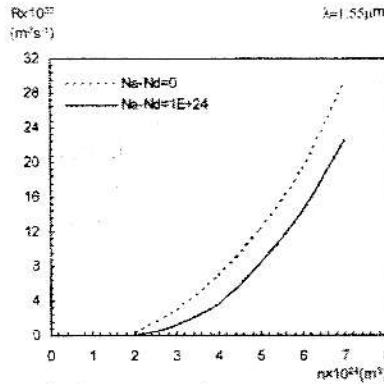


شكل (8) تغير معدل تضخيم الانبعاث التلقائي (R) مع تركيز الالكترونات (n) عند الطول الموجي ($1.55 \mu\text{m}$) وقيمتين مختلفتين للفرق ($N_D - N_A$)

الاستنتاجات

أوضحت نتائج التحليل المقدم في هذه الدراسة أن معدل تضخيم الانبعاث التلقائي في ليزرات أشباه الموصلات المصنعة بنمط التركيب الهجين المزدوج أو بنمط بئر الجهد الكمي (QW) والعاملة عند الأطوال الموجية تحت الحمراء القريبة تعتمد بشكل لاخطي على تركيز الحاملات ودرجة حرارة المنطقة الفعالة من التركيب والتي يتم فيها توليد الليزر. إن معدل الانبعاث التلقائي ينتج بشكل أساسي عن عملية إعادة الاتحاد التلقائي وبالتالي فإن السلوك اللاخطي لهذه العملية يمكن أن يؤثر بشكل كبير على عمل الليزر

- [5] Vail, E.C. *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, Vol.63, 1993, pp.2183-2185.
- [6] Zhang, G. *et al.*, *Electron. Lett.*, Vol.63, 1997, pp.489-491.
- [7] Gokhale, M.R. *et al.*, *IEEE J. Quantum Electron.*, Vol.33, 1997, pp.2266-2276.
- [8] Yang, G.W. *et al.*, *IEEE Select. Topics in Quantum Electron.*, Vol.6, 2000, pp.577-584.
- [9] Ismael, M.R., Hamadi, O.A. and Salem, E.T., *J. Eng. Technol.*, Vol.21, No.7, 2002, pp.181-186.
- [10] Gribkovskii, V.P. *et al.*, *IEEE J. Quantum Electron.*, Vol.12, 1976, pp.322-326.
- [11] Gribkovskii, V.P., *Prog. in Quantum Electron.*, Vol.19, 1995, pp.41-88.
- [12] Gribkovskii, V.P. *et al.*, IEEE Report No.97th 8305, 1997, pp.86-90, private communications from the internet.
- [13] Dutta, N.K. and Nelson, R.J., *J. Appl. Phys.*, Vol.53, No.1, 1982, pp.74-92.
- [14] Adams, M.J., *IEEE J. Quantum Electron.*, Vol.21, No.9, 1985, p.1498.



شكل (10) تغير معدل تضخيم الانبعاث التلقائي (R) مع تركيز الالكترونات (n) عند الطول الموجي ($1.55 \mu\text{m}$) عند درجة حرارة الغرفة ($T=300\text{K}$)

المصادر

- [1] Senior, J.M., "Optical Fiber Communication: Principles and Practice", Prentice-Hall Int. (London), 1985, p.279.
- [2] Nawaz, M. and Permethamasin, K., *Semicond. Sci. Technol.*, Vol.16, 2001, pp.877.
- [3] Ijichim T. *et al.*, *Microwave Opt. Technol. Lett.*, Vol.7, 1994, pp.139-143.
- [4] Razeghi, M. *et al.*, *SPIE*, Vol.3001, 1997, pp.243-253.

- [17] Adams, M.J., IEE Proc.: J, Vol.132, No.6, 1985, p.343.
- [18] Agrawal G.A. and Dutta, N.K., "Long-Wavelength Semiconductor Lasers", Van Nostrand-Reinhold (NY), 1993, p.616.
- [15] Adams, M.J., Senokosov, E.A. and Usaty, A.N., Opt. Quantum Elecrtion., Vol.27, 1995, p.1.
- [16] Adams, M.J., IEE Proc.: J, Vol.132, No.1, 1985, p.58.