دراسة التصرف الحركي لليزرات أشباه الموصلات نوع النقاط الكمية الممتدة

رسالة تقدم بها الى مجلس كلية التربية للعلوم الصرفة /جامعة البصرة وهي جزء من متطلبات نيل درجة الماجستير فى علوم الفيزياء

محسرسا فم جاسم (لطاقى

بكالوريوس علوم فيزياء

بإشراف الأستاذ الدكتور

جاسب مجبر (لحسي مشارى

2014 ميلادي

1435 هجري



يرفع للثم للنريق ولرمنول منكرول لنري

أتوا العروريان



سورة (الجادلة (الآية (11)

لالمحرو

الى مُلبية دعواتي في شدتي ورخائي..... سيدتي ومو لاتي فاطمة المعصومة (^علم ال^رلر*ل*) الى مَن أحمل أسمه بكل فخر وأودعني ش... أبي الى من ركع العطاء أمام قدميها وأعطتنا من دَمِها وروحها و عُمرِها حباً وتصميماً ودفعاً لغدٍ أجملأمي الى مَن شاركني حضن الأم وبهم أستمد عزتي وأصر اري...أخوتي الى مَن شاطرتني حياتي وصعابها وهمومها وآلامها....زوجتي الى مَن لم تفارقني دعواتهاأختي أم علي الى مَن لم تفارقني دعواتهاأختي أم علي الى المتربعة على عرش الأيام الطفلة التي عمرت بيتها من الحب والحجارة المهرة الأصيلة التي طالما سبقت دنياها وزمانها ...مدينتي

لأحدى جعلى حذل ولأساك للثم لالتوفيق

شكرو((متبا)

الحمد لله الذي وطن خفايا الامور , ودلت عليه أعلام الظهور , سبق في العلو فلا شيء أعلى منه وقرب في الدنو فلا شيء أقرب منه , لم يطلع العقول على تحديد صفته , ولم يحجبها عن واجب معرفته , فهو الذي تشهد له اعلام الوجود على إقرار قلب ذي الجحود , تعالى عما يقول المشبهون به والجاحدون له علواً كثيراً .

الحمد لله الذي فضئل مداد العلماء على دِماء الشُهداء , عن الرسول الاكرم سيدنا محمد (صلى الله عليه واله) : أن الحوت في البحر والطير في السماء ليصلون على معلم الناس خيراً .

يتوقف البراع عاجزاً ليفكر قبل أن يخط الحروف ليجمعها في كلمات شكر هاهي نتبعثر وعبثاً أحاول جمعها في سطور إشكراً وأمتناناً الى الأستاذ الفاضل والاب الحنون لرعايته الابوية وسخاء نفسه الأبية ولعطاءه الدائم المنقطع النظير الأستاذ الدكتور جاسب عبد الحسين مشاري وأسأل الله أن يمدهُ بالصحةِ والعافية ويجعلهُ عموداً وسطا في خيمة أهله وعشيرته وأحبائة .

كما أتقدم بالشكر الى الأستاذ المساعد الدكتور حسن عبدالله سلطان التدريسي في جامعة البصرة-كلية التربية – قسم الفيزياء لجهوده المبذولة في مساعدتي في برمجة النظام والى الأستاذة الدكتورة جنان مجيد المخ لمساعدتي في الحصول على بعض المصادر المتعلقة بموضوع البحث وتوضيحها والشكر الى الأستاذ المساعد الدكتور روني مانوئيل لمساعدته لي في جوانب رياضية محددة والى الأخ مشتاق عبيد المدرس المساعد في جامعة ذي قار – كلية العلوم – قسم الفيزياء .

كما أتقدم بشكري الى الشموع التي ذابت في كبرياء لتنير كل خطوة في طريق النجاح والتقدم فكانوا رُسلاً للعلم والأخلاق وهل يستطيع أحداً أن يشكر الشمس لأنها أضاءت الدنياأساتذتي جميعا في قسم الفيزياء رئيسه والسادة التدريسيين الأفاضل .

والشكر موصول الى زملائي كافة في الدراسات العليا وكل مَن سعى لإنجاز عملنا هذا دون أن نعلم به أو غَفِلنا عن ذِكره.

(لباحث

الخلاصة

ولدت ليزرات أشباه الموصلات نوع النقاط الكمية الممتدة من محاولة لتوسيع مدى الأطوال الموجية المُستحصلة من ليزرات شبه الموصل نوع النقطة الكمية وتتمتع بصفات ومميزات تفوق تلك الخاصة بليزرات النقطة الكمية .

يمثل العمل الحالي دراسة حركيات كل من شدة خرج الليزر وأحتمالية الأشغال للنقاط الكمية الممتدة وكثافة الحاملات في منطقة الترطيب في ليزرات النقاط الكمية الممتدة التي تعمل بدون مؤثر خارجي, ثم دراسة حركيات الشدة لذات الليزر بتأثير تضمين تيار الحقن حيث تمتلك الليزر في هذه الحالة ثلاث من درجات الحرية .

أدت عملية تضمين تيار الحقن الى خرج فوضوي مفيد جداً في تطبيقات الاتصالات المؤمنة والى ولادة نبضات قصيرة محدودة العدد وأخيراً دُرِسَ تأثير درجة الحرارة على حركيات الشدة من خلال أعتماد كثافة تيار الحقن عند العتبة على درجة الحرارة .

أعتمد أنموذج رياضي يتكون من ثلاث معادلات تصف التصرف الزمني لكل من شدة الخرج وأحتمالية الأشغال وكثافة الحاملات الذي تم حلَّهُ بأستعمال طريقة رنج - كتا العددية ذات المرتبة الرابعة ونظام مات – لاب .

تأثرت الكميات الثلاث (الشدة وأحتمالية الأشغال وكثافة الحاملات) بمعاملات النظام الأساسية ألا وهي التحصيل التفاضلي ونسبة أضمحلال حاملات الشحنة الى الفوتونات وكثافة تيار الحقن ومعدل هروب الحاملات ودرجة الحرارة عندما تعمل الليزر بدون مؤثر خارجي .

وتأثر أداء الليزر عند عملها تحت تأثير تضمين تيار الحقن بكل من الجزئين الثابت والمتغير من تيار الحقن وتردد التضمين .

المحتويات

الفصل الأول

المقدمة

(1)	1.1 تمهيد
(5)	1.2 آثار خفض درجات الحرية
(7)	1.3 ليزرات شبه الموصل نوع النقاط الكمية الممتدة
(9)	1.4 در اسات حول ليزر النقاط الكمية الممتدة
(11)	1.5 استعراض تاريخي لليزر شبه الموصل نوع النقاط الكميةالممتدة
	الفصل الثاني

الأنموذج الحسابي

الفصل الثالث

حركيات ليزر النقاط الكمية الممتدة

(19)	3.1 المقدمة
(20)	3.2 تفاصيل الأنموذج الحسابي
(21)	3.3 ألية الحسابات
(21)	3.4 المحاكاة العددية والمناقشة
(38)	3.5 الاستنتاجات

الفصل الرابع

تضمين تيار الحقن المباشر في ليزر الشخطة الكمية

(39)	4.1 المقدمة
(40)	4.2 الأنموذج الحسابي
(41)	4.3 معاملات النظام
(42)	4.4 نتائج المحاكاة والمناقشة
(71)	4.5 الاستنتاجات

الفصل الخامس

دراسة تاثير درجة الحرارة على خرج ليزر النقاط الكمية الممتدة

(72)	5.1 المقدمة
(72)	5.2 الجزء النظري
(73)	5.3 نتائج المحاكاة والمناقشة
(87)	5.4 الأستنتاجات

الفصل السادس

الأستنتاجات والعمل المستقبلي

(88)	6.1 الاستنتاجات
(89)	6.2 العمل المستقبلي
(90)	المصادر

الفصل الأول

Chapter one

المقدمة

Introduction

1.1 تمهيد

Prelude

في نهاية العام 1962 تمكنت أربعة مجاميع بحثية كل على انفراد من الإعلان عن تصنيع أول ليزر شبه موصل (Semiconductor laser (SCL مصنوعة من مادة كاليوم- ارسينايد GaAs المشوبة [1-3] وفي مادة ($As_{1-x}P_x$) [4] واستمرت الأبحاث بالأتجاه نفسه حتى عام 1970 [5,6] .

مع بداية تصنيع ليزر شبه الموصل فإن الجهاز كان يعاني من ارتفاع تيارات الحقن المطلوبة لتشغيل هذا الليزر مما يؤدي إلى رفع درجات حرارة الجهاز الذي يمنع تشغيلها في درجة حرارة الغرفة او التشغيل بالنمط المستمر (Continuous Wave(CW).

السبب في هذه المقيدات لعمل هذا الليزر بالظروف الاعتيادية هو صِغَر المنطقة الفعالة والوصلة ولسبب في هذه المقيدات لعمل هذا اللنيزر بالظروف الاعتيادية وتتبعها الانبعاثات المحفزة ذلك الذي يؤدي إلى انتشار الكترونات الضخ في مديات أبعد من المنطقة الفعالة وكذلك فأن الفوتونات الناتجة تنتشر في مديات بعيدة عن المنطقة الفعالة . في الحالتين فأن التيار المتوفر لخلق فرق الناتجة تنتشر في مديات بعيدة عن المنطقة الفعالة . في الحالتين فأن التيار المتوفر لخلق فرق كما الناتجة تنتشر في مديات المعني زيادة تيار الحقن لترتفع بذلك درجة حرارة الوصلة والجهاز ككل. كما وان الفوتونات المتوفرة في المنطقة الفعالة سيكون عددها منخفض مما يقل من عدد ككل. كما وان الفوتونات المتوفرة في المنطقة الفعالة سيكون عددها منخفض مما يقل من عدد الانبعاثات المحفزة وبالتالي من كفاءة جهاز الليزر لذلك فقد توجهت بحوث كثيرة لغرض حل هذه المشكلة عن طريق إحاطة المنطقة الفعالة بمادة (أو مواد) تمنع الالكترونات من أن تتجرف معامل انكسار ها القل من معامل انكسار ها الفعالة الفعالة مما يمنع عنونة معامل النيزم خلك معا وان الفوتونات المتوفرة في المنطقة الفعالة ميكون عددها منخفض مما يقل من عدد الانبعاثات المحفزة وبالتالي من كفاءة جهاز الليزر لذلك فقد توجهت بحوث كثيرة لغرض حل هذه المشكلة عن طريق إحاطة المنطقة الفعالة بمادة (أو مواد) تمنع الالكترونات من أن تنجرف معا معامل انكسار المنطقة الفعالة مما يمنع الالكترونات من ما وان الفوتونات من معامل انكسار المنطقة الفعالة مما يمنع الوتونات من معادرة المنطقة الفعالة تتمتع بفجوة طاقة كبيرة مقارنة مع فجوة طاقة المنطقة الفعالة بما وان الفوتونات من أو توفير مرشد معامل انكسار ها الل من معامل انكسار المنطقة الفعالة مما يمنع الفوتونات من معادرة المنطقة الفعالة مما يما وان من معامل انكسار المنطقة الفعالة مما يمنع الفوتونات من معادرة المنطقة الفعالة معان معاد من أو توفير مرشد معامل انكسارها الل من معامل انكسار المنطقة الفعالة مما يمنع الفوتونات من معادرة المنطقة الفعالة عن طريق توفير شرط الانعكاس الكلي عند السطح الفاصل بين المادتين أو توفير مرشد كلوجة وبذلك ولدت ليزرات شبه الموصل نوع التركيب مضاعف التغاير الموجة وبذلك ولدت ليزرات شبه الموصل نوع التركيب مضاعف التغاير الموجالي إلى الموجة وبذلك ولدت ليزرات شبه الموصل نوع التركيب مضاعف التغاير الموج

لاحظ الشكل (1.1) حيث يتبين الفرق بين حالة الليزر بدون أضافات وبوجود أضافات والشكل (1.1) حيث يتبين الفرق بين حالة الليزرين .

1







شكل (1.1,b) يبين ليزر الحافة الباعثة ذي التركيب المتغاير http://w.w.w/en.wikipedia



شكل (1.2) يبين مقارنة في توزيع معامل الأنكسار في ليزر شبه الموصل ذي التركيب غير المتغاير (a) والتركيب المتغاير (b). http://w.w.w/en.wikipedia

لم تفلح طريقة بناء ليزر شبه الموصل بطريقة التغاير المضاعف (DH) في خفض التيار كثيراً أو أن ترفع كثيراً درجة الحرارة التي يعمل بها الليزر إلى درجة حرارة الغرفة فتم التفكير بشيء آخر . خضعت أبعاد ليزرات أشباه الموصلات لتطورات غاية في الكمال فبعد ما كان ليزر شبه الموصل كبير الحجم Bulk نسبياً وكان يعمل في درجات حرارة واطئة لان الحرارة المتولدة بسبب كثافات التيار الكبيرة تؤدي حتماً إلى خفض كفاءة الجهاز والى الإضرار بهِ وصحيح إنها لا تكلف اقتصادياً إلا انه من غير الملائم استعمالها في الدوائر الالكترونية غاية في الصغر مثل دمجها في أجهزة الاتصالات .

كحل أقترح البعض خفض أبعاد ليزرات شبه الموصل كبيرة الحجم Bulk فتحول الجهاز إلى ليزر شبه الموصل ببعدين أطلق عليه تسمية ليزرات الآبار الكمية Bulk موصل ببعديا (QWLs) [7] , إلا إن ذلك لم يكن كافياً حيث إن كثافات تيار الحقن لم تزل مرتفعة فَخُفِض بعداً آخر من الأبعاد المتبقية لتتولد ليزرات شبه الموصل نوع الأسلاك الكميه Quantum wire آذر من الأبعاد المتبقية لتتولد ليزرات شبه الموصل نوع الأسلاك الكميه ISB (Quantum wire [8] semiconductor lasers (QWire SCLs) [8] (Quantum dot semiconductor تم خُفِضَ البعد الثالث لتتولد ليزرات جديدة ذات أبعاد صفرية أطلق عليها تسمية ليزرات النقاط الكمية Quantum dot semiconductor الكمية شبه الموصل الأربعة, الحجمية والأبار الكمية والاسلاك الكمية وأخيراً النقاط الكمية .



الشكل (1.3) من اليسار الى اليمين ليزرات شبه الموصل الاربعة (الحجمية والبئر الكمي والسلك الكمي والنقاط الكمية) حيث تبين الفروقات في كثافات الحالات

http://w.w.w/en.wikipedia

Effect of the reduction of

الحرية

degrees of freedom

إن أول ليزر شبه الموصل استند إلى وصلة p-n أحادية متجانسة Homojunction حيث تم تصنيع المنطقتين المشوبتين n و p من المادة نفسها GaAs لذلك فأن فجوة الطاقة على جانبي الوصلة متماثلة لتكون الحاجة كبيرة لتيارات ضخ مرتفعة ودرجات حرارة منخفضة كما أسلفنا في البند السابق لتحقيق قلب التعداد المطلوب . نتيجة لذلك , فأن ليزرات شبه الموصل الحجمية إمكانية استعمالها في تعمل إلا في درجات الحرارة الواطئة , وإن أعمار ها قصيرة بحيث قللت من إمكانية استعمالها في التطبيقات المختلفة . إن القفزة التي حصلت لليزرات شبه الموصل كمصدر المحاود في التطبيقات المختلفة . إن القفزة التي حصلت لليزرات شبه الموصل كمصدر المحادية استعمالها في التطبيقات المختلفة . إن القفزة التي حصلت لليزرات شبه الموصل كمصدر مدد و عن التطبيقات المحرية كانت بأستحداث ليزرات أطلقنا عليها ذات التراكيب مضاعفة التخاير (DH) حيث يُحصر غشاء كمي Quantum film من مادة ذات فجوة طاقة واطئة بين مادة حجميه ذات فجوة طاقة اكبر فنتج بئر كمي (QW) . لو ان الغشاء الكمي كان أرق من طول العمودي على الطبقة . عملية الحصر هذه للحاملات بأتجاه واحد مكانياً تؤدي إلى فصل فجوات العمودي على الطبقة . عملية الحصر هذه للحاملات بأتجاه واحد مكانياً تؤدي بلى فصل فجوات بالأتجاه العمودي المول الحمي الحمي الاته منا يؤدي العلقة والئة بين موجة ديبرولي للحاملات , فأن مستويات طاقته تكون منفصلة (متميزة) العمارة والذي يؤدي الطواقة الشبه الموصل الحجمي إلى حزم طاقة ثانوية , تسمح بخفض تيار العتبة والذي يؤدي الطاقة الميه المول الحجمي إلى حزم طاقة ثانوية , تسمح بخفض تيار العتبة والذي يؤدي بر يؤدي بر يؤدي إلى فصل فجوات المورة الى العمل المتمر (CW) في درجة حرارة الغرفة .

إن حصراً إضافياً قابلاً للتحقق , كما هو الحال في ليزرات الأسلاك الكمية (QWire) حيث تحصر الحاملات ببعدين مكانيين ومن ثم في الليزرات المعتمدة على النقاط الكمية (QD) تُحصر الحاملات في الأبعاد المكانية الثلاثة على امتداد طول لا يزيد على طول موجة ديبرولي .

بسبب هذا الحصر في النقطة الكمية فأن الانتقالات البصرية تحصل بين مستويات منفصلة (متميزة) تتسع لورنتزياً بسبب انحلالاً زمنيا محدوداً للاستقطاب وهذا يسمح بخفض تيار العتبة وأستقرارية عالية في درجة الحرارة مقارنة مع الاجهزة المبنية على (QW) . الشكل (1.4) يبين مقارنة مباشرة بين مستويات الطاقة في الليزر الحجمي وليزر النقطة الكمية .



(a) (b)

شكل (1.4) يبين مقارنة بين مستويات الطاقة في ليزر شبه الموصل الحجمي (a) وليزر شبه الموصل ذي النقطة الكمية (b) .

http://w.w.w/en.wikipedia

Quantum dash semiconductor ليزرات شبه الموصل نوع 1.3 النقاط الكمية الممتدة

إن تراكيب النقاط الكمية الممتدة تحتوي نقاط كمية متساوية الخواص أرتفاعها يبلغ (4-3) نانوميتر وطول قاعدتها يتراوح بين (20-10) نانوميتر بينما طولها يمتد من العشرات الى المئات من النانومترات كما يتضح ذلك في شكل (1.5) ويبين صورة مأخوذة بواسطة المجهر الذري والشكل (1.6) يبين أبعادها المنفردة.

إن الحصر شبه ثلاثي الأبعاد للحاملات يمكن النقاط الكمية الممتدة المنفردة (Q Dash) لأن تبدي مميزات فريدة ومدهشة مثل عدم الحساسية نحو درجة الحرارة و مقاومة للتغذية العكسية البصرية وذات مناغمة طيفية واسعة وأنبعاث محفز واسع . كما وأنها أي النقاط الكمية الممتدة تبدي تحصيلاً مرتفعاً وخسائر منخفضة. وسبب التحصيل المرتفع هو التكميم المخفض لكثافات الحالات بأتجاه واحد مما يجعل من تركيب النقاط الكمية الممتدة يقع وسطاً بين الآبار الكمية على والنقاط الكمية ممتدة في حاجز ODash الكمية الممتدة يقام الكمية المعتدة تصنف أما على شكل نقاط كمية ممتدة في حاجز Dash-in-a المتاه (DBAR) ما على قال الكمية المعتدة في بئر Dash الكمية المعتدة إو (Dbark) الكمية المعتدة معندة في بئر Dash الكمية معتدة في حاجز Dash الكمية المعتدة الكريب النقاط الكمية المعتدة الكمية الكمية المعتدة المعتدة المعتدة المعتدة المعتدة المعتدة المعتدة المعتدة الكمية المعتدة المعتدة المعتدة المعتدة المعتدة المعتدة المعتدة المعتدة الكمية المعتدة المعتدة المعتدة الكمية الكمية الكمية المعتدة المعتدة المعتدة المعتدة المعتدة المعتدة الكمية المعتدة المعتدة أما على شكل نقاط كمية معتدة في حاجز Dash-in-a الكريس النقاط الكمية المعتدة المعتدة أما على شكل نقاط كمية معتدة في حاجز Dash-in-a المعتدة المعتدة المعتدة المعتدة أما على شكل نقاط كمية معتدة في حاجز Dash-in-a الكريس النقاط الكمية المعتدة المعتدة أما على شكل نقاط كمية معتدة أو (Dwell) أو الكريس الالاليا الكمية المعتدة المعتدة المعتدة في بئر Dash-in-a الحاليا إو (Dwell) الما الكريسة معتدة أو الكريس النقاط كمية معتدة أو الكريس الكريس المعادة أو الكريس المعتدة المعتدة المعتدة في بلالاليا الكريسة كالالاليا الكريس الكريس القاط كمية المعتدة أو الكريس المعتدة المعتدة المعتدة في بلالاليا إو الكريس الكريسة الماليا إو الكريس الكريس المعتدة الما كريس اللوليا الكريس اللوليا إلى اللوليا إلى الكريس اللوليا إل



شكل (1.5) يبين صورة لنقاط كمية ممتدة مأخوذة بواسطة المجهر الذري http://w.w.w/en.wikipedia



شكل (1.6) يمثل ابعاد النقاط الكمية الممتدة, L طول و W عرضُها و h_{dash} إرتِفاعُها

http://w.w.w/en.wikipedia

نظراً لشكلها الممتد فأن للنقاط الكمية الممتدة (QDashs) عدد كبير من الحالات المحصورة طولياً التي يمكن مِلنُها بكثافات تيار واطئة إضافة إلى التراوحات في الحجم بأتجاه المقطع العرضي فأن ذلك يؤدي إلى طيف تحصيل واسع جداً . تنبع الصفات المميزة للنقاط الكمية الممتدة (QDashs) من الأبعاد الصفرية مثل عتبة التيار المنخفضة ومعامل تعزيز عرض الخط Linewidth enhancement factor, منخفض لذلك فأن مواد النقاط الكمية الممتدة (QDashs) تعد مهمة للتطبيق في أجهزة الإلكترونيات البصرية التي تستفيد من عرض طيف التحصيل البصري . كمثال على ذلك فأن مواد محيقا كوسط فعال في المضخمات .

1.4 دراسات حول لیزر 1.4

النقاط الكمبة الممتدة

SCLs

مع ولادة ليزر النقاط الكمية الممتدة عام (2001) تركزت الدراسات الأولية والأبحاث على فهم كيفية تطوير أدائُها حيث بين Ukhanov وزملائة [12] إعتماد الصفات البصرية لليزر Q Dash نوع InAs المرسبة على InP على إتجاه Orientation البلورة .

إن القفل بالحقن (IL) Injection locking لليزرات شبه الموصل عموماً حَسَنَ كثيراً في أداؤها مثل مميزات السرعة العالية لليزرات المضمنة مباشرة كزيادة عرض حزام التضمين والتخلص من التشوهات اللاخطية Nonlinear distortion و تخفض من ضوضاء الشدة النسبية Relative intensity noise و من التراوحات في الشدة (Chirp) وفي التردد أو الطور . لذلك فأن بحوث عديدة ذهبت بأتجاه دراسة تأثير الحقن على خرج ليزر النقاط الكمية الممتدة . في عام 2007 درس Mosh [13] مميزات القفل بالحقن (IL) لليزر النقاط الكمية الممتدة نوع Roi InAs وفي عام 2009 تحقق Pochet وزملائه من أستجابة التضمين فابري – بيروت مقفولة بالحقن (IL) . كما ودرس كل من Pochet ذات تجويف فابري – بيروت مقفولة بالحقن (IL) [14] . كما ودرس كل من Pochet وزملائه حركيات

ذات الليزر المقفولة بالحقن (IL) عند إزاحة تردد قدرها صفر [15] و Chen والعاملين معه [16] و Maldonado-Basilio [17] والعاملين معه تأثير تضمين الحقن البصري Optical injection (OI) على حركيات ليزرات النقاط الكمية الممتدة . إن لليزرات شبه الموصل نوع النقاط الكمية الممتدة مقفولة النمط تطبيقات واعدة في الأتصالات وأخذ العينات بالطريقة البصرية الكهربائية Electro-optic sampling نظراً لحجمها المدمج Compact size والأستهلاك الواطئ فيها لقدرة الدخل والضخ الكهربائي المباشر لذلك توجهت بحوث كثيرة بأتجاه قفل نمط (ML) Mode locking ليزرات النقاط الكمية الممتدة ومنذ العام 2007 بأتجاهات مختلفة [24-18].

إن إحدى صفات الليزرات محصورة الحاملات صِغَر معاملات تعزيز عرض الخط وهي صفة ترفع من مقدار التسامح ضد تأثيرات التغذية العكسية التي تعاني جميع الليزرات حتى أشباه الموصلات ما عدا ليزرات QD و QDash منها . هذه العملية تسمح لعمل الليزر بوجود التغذية العكسية دون الحاجة إلى وسائل عزل الليزر لمنع ما يعود من خرجها الى داخل التجويف مرة أخرى , مما يؤدي إلى عدم استقر اريات زمانية مثل انهيار التشاكه Coherent collapse [25] .فتوجهت على هذا الأساس مجموعة من البحوث لدراسة تأثير التغذية العكسية البصرية على أداء ليزر النقاط الكمية الممتدة [29 – 26] .

في سنة 2009 درست الباحثة Heck تفاصيل دقيقة في كل من ليزر النقطة الكمية وليزر النقاط الكمية الممتدة الكمية الممتدة الكمية الممتدة الكمية الممتدة الكمية الممتدة الكمية الممتدة الذي يؤدي إلى توزيع في طاقة المستويات Dispersion of energy level الحجم في النقاط الكمية الممتدة الذي يؤدي إلى توزيع في طاقة المستويات Ivel والخسائر البصرية ...الخ كما وتمت مركبات المجال الكهربائي TE وعملية إعادة الألتحام والخسائر البصرية ...الخ كما وتمت دراسة المحندات المجال الكهربائي TE وعملية إعادة الألتحام والخسائر البصرية ...الخ كما وتمت مركبات المجال الكهربائي TE وعملية إعادة الألتحام والخسائر البصرية ...الخ كما وتمت دراسة المحندات البصرية النقاط الكمية الممتدة عند الطول الموجي 1.55 من قبل Zilkie وزملائه [30] . درست الخصائص البصرية لليزر النقاط الكمية الممتدة مكونة ذاتيا نوع وزملائه [30] . درست الخصائص البصرية لليزر النقاط الكمية الممتدة مئل مصادر وزملائه الموجي 1.55 من قبل InGaAs/GaAs معادت المفرة المعندة في ما جاء في هذا البند فأن لليزر النقاط الكمية الممتدة نوع Quantum محايت المعار الخاصة الكرية المنورة أو 200 معاية المات المحارية عليزر النقاط الكمية الممتدة مثل مصادر محاين منفردة أو 200 معانية مثل معاد موتون منفردة أو 200 منتقات المتلاحقة لليزر النقاط الكمية الممتدة مثل مصادر عوتون منفردة أو 200 معاد الخاصة بالاتصالات البصرية الكمية المشورة الموتون منفردة أو 200 معاد اليزر 200 معاد الخاصة بالاتصالات المعادية مثل مصادر عوتون منفردة أو 200 معاد المحالمة بالاتصالات البصرية الكمية المشورة الموتون منفردة أو 200 معاد المات البراح 200 معاد الحماد موتون منفردة أو 200 ماليزر 200 معاد الحامة بالاتصالات المحادية المنورة المعاد موتون منودة أو 200 ماليزر 200 معاد الحاد الحاد البند فأن لليزر 200 معاد مولية المعندة موتول الكمية الممتدة موتون منورة أو 200 مالمالية الكمية الممتدة موتون منفردة أو 200 ماليزر 200 معاد الحاد البند فأن اليزر 200 معاد مولية موتون مالمورة 200 معاد موليا المولية موليا الكمية الممتدة نوع عامرة الذي يمتد إلى ما يقارب 200 معاد الحاد مولية الحاد موليا الكمية مولي ماليزا 200 ماليزا 200 معاد موليا المولي 200 ماليزا 200 معاد مولي ماليزا 200 معاد مولي 200 ماليزا 200 ماليزا 200 ماليولي 200 ماليوليا 200 ماليزا 200 ماليا 200 ماليولي

أول مَن تحدث عن صناعة أول ليزر النقاط الكمية الممتدة العاملة عند درجة حرارة الغرفة من مادة InAs المنمات على InP على السطح (001) هو Wang والعاملين معه [10] عام 2001 حيث نتج من هذا الليزر بالنمط النبضي أطوال موجية امتدت من 1.6μm إلى 1.66μm منادة تراكيب تحتوي على التوالي طبقة منفردة Aige Stack وثلاث طبقات وخمس طبقات . وكانت كثافة تيار العتبة للطبقة المنفردة بحدود 410 A.cm⁻² . بعد ذلك بسنة

واحدة أي في عام 2002نشر Schwertberger والعاملين معه [33] و Vkhanov والحدة أي في عام 2002نشر Schwertberger الممتدة بأطوال موجية امتدت من IL54µm (12] معه [12] بحثين حول ليزر النقاط الكمية الممتدة بأطوال موجية امتدت من IKA.cm² معه [12] بحثين حول ليزر النقاط الكمية الممتدة بأطوال موجية امتدت من IKA.cm⁷ والجهاز يمك أن يعمل عند درجة حرارة 80 درجة مئوية بالنمط النبضي وبدرجة حرارة مميزة ($_{0}$) بمقدار 1.78µm ($_{0}$) بمعا عند درجة حرارة 80 درجة مئوية بالنمط النبضي وبدرجة حرارة مميزة ($_{0}$) بمقدار 1.78µm ($_{0}$) بمقدار 1.78µm ($_{0}$) والجهاز عنيم عند درجة حرارة 80 درجة مئوية بالنمط النبضي وبدرجة حرارة مميزة ($_{0}$) بمقدار 1.78µm ($_{0}$) والعاملين معه [30] سلسلة من البحوث كانت أهدافها متعددة ففي العام والعاملين معه [31] دراسة لمميزات هذا النوع من الليزرات بعه park ($_{0}$) Port in a source ($_{0}$) والعاملين معه [33] دراسة معمقة لتحديد طبيعة هذا النوع من الليزرات . كذلك درس Barik والعاملين معه [35] في دراسة معمقة التحديد طبيعة هذا النوع من الليزرات . كذلك درس Somers والعاملين معه [35] دور أضافة طبقة بينية مثل GaAs على أداء ليزر النقاط الكمية الممتدة in As/InAlGaAs/InP والعاملين معه [36] دور أضافة طبقة بينية مثل GaAs على أداء ليزر النقاط الكمية الممتدة والعاملين معه [36] دور أضافة طبقة بينية مثل GaAs على أداء ليزر النقاط الكمية الممتدة والعاملين معه [38] المضخمات البصري في ليزر النقاط الكمية الممتدة والعاملين معه [38] المضخمات البصرية نوع النقاط الكمية الممتدة InAs/InP والعاملين معه [38] المضخمات البصرية نوع النقاط الكمية الممتدة بعمل عند الطول من عالملين معه [38] المضخمات البصرية نوع النقاط الكمية الممتدة إلى التشاكه المول ألو ألموجي من عصالي المراحي ألو ألموجي الموجي الموجي الموجي في ليزر النقاط الكمية الممتدة إلى الموجي الموجي من عبر ألو الموجي معه [38] المضخمات البصرية نوع النقاط الكمية الممتدة بعمل عند الطول ألموجي الموجي الموجي الموجي الموجي من حصول ظاهرة أنهيار التشاكه الممتدة بعمل عند الطول ألموجي من خبل الموجي محمول الموذ ألموز ألمو ألمو ألموجي الموجي الموجي الموجي الموجي الموجي الموجي الموجي الموجي الموجي المولي ألموجي الموجي المولي ألمو ألمولي التشاكم الموجي المولي المولي ألمولي ألمولي ألمو

في الفصل التالي سنوضح تفاصيل الأنموذج الرياضي المستعمل في دراسة خصائص ليزر النقاط الكمية الممتدة وهي شدة الخرج (Ι) وفرق التعداد في منطقة الترطيب Wetting layer (n) وأحتمالية الإشغال (Occupation probability(ρ) في النقاط الكمية الممتدة.



Chapter two

الأنموذج الحسابي

The mathematical model

Introduction

إن النقاط الكمية الممتدة تركيب نانوي ممتد مقطعه العرضي يُشابه المقطع العرضي للنقطة الكمية الضحلة ((20-10) × nm(-3) وبطول يمتد لمئات النانومترات. تتجمع النقاط الكمية الممتدة بطريقة كثيفة وموازية لبعض تقريباً بحيث إن ما تغطيه النقاط الكمية الممتدة بالترتيب الممتدة نفي الشكل (1.5) يبلغ 50% تقريباً . يبنى تركيب الليزر بطريقة بحيث إن النقاط الكمية الممتدة منوليا محور مرشد الموجة Wave guide البصري وذلك يضمن تعظيم الممتدة تداؤ كثافة ثنائي القطب القطب [3].

تناول عدد محدود من الباحثين مسألة نمذجة حركيات ليزر النقاط الكمية الممتدة. ففي عام 2009 كتب Nader وزملائه أنموذج لدراسة تصرف ليزر النقاط الكمية الممتدة بوجود القفل بالحقن (IL) [42] وقدم Pochet وزملائه أنموذج آخر يخص ليزر النقاط الكمية الممتدة المقفولة بالحقن (IL) [15] لا يختلف كثيراً عن النماذج المعروفة التي تناقش ليزرات شبه الموصل عموماً, تلاهُ أنموذج آخر له Chen وزملائه لدراسة تضمين الحقن البصري الموصل عموماً, تلاهُ أنموذج آخر له معوصل نوع النقاط الكمية الممتدة [16]. نماذج أخرى لكل من Khan وزملائه [43,44] مشتقة من نماذج كتبت اساساً لدراسة حركيات ليزرات النقطة الكمية.

وأخيرا قدم Khan وزملائه [32] أنموذجا آخر أخذاً بنظر الاعتبار تفاصيل تخص النقاط الكمية الممتدة أسوة بما فعله Chen وزملائه [16] و Khan وزملائه [44] .

d in the 2.2 الأنموذج المعتمد في study الدراسة الحالية

Model used in the present study

الأنموذج المعتمد في الدراسة قدم للمرة الاولى من قبل Brien 'O وزملائه [45] عام 2004 حيث كَتَبَ الأنموذج بالأساس لدراسة حركيات ليزر نقطة كمية يتعرض إلى تغذية عكسية بحسرية (Optical Feedback (OFB . بعد التخلص من التغذية العكسية البصرية وفي هذه الحالة فأن نمو كل من شدة الضوء وكثافة الحاملات لا يعتمد على طور المجال الكهربائي ليصبح

$$\dot{s} = -\frac{s}{\tau_s} + g_o v(2\rho - 1)s....(2.1)$$

$$\dot{\rho} = -\frac{\rho}{\tau_d} - g_o(2 \ \rho - 1) \ s + F(N, \rho)....(2.2)$$

$$\dot{N} = \mathbf{J} - \frac{N}{\tau_n} - 2N_d \mathbf{F}(\mathbf{N}, \rho) \dots (2.3)$$

حيث ان s كثافة الفوتونات و ρ احتمالية الأشغال للنقاط الكمية و N كثافة الحاملات في منطقة الترطيب (σ_{res} للمقطع و $\sigma_{res} v_g$ ومنطقة الترطيب (Wetting layer (WL) و المقطع العرضي لتفاعلات حاملات الشحنة في النقاط الكمية مع الفوتونات و v_g سرعة المجموعة وأن

$$\upsilon = \frac{2N_d}{d} \Gamma$$

d حيث N_d كثافة النقاط الكمية ثنائية الأبعاد و Γ معامل الحصر Confinement Factor و N

يار J دالة تصف المعدل الزمني لتبادل الشحنات بين البئر والنقاط الكمية J تيار F(N,ho) دالة تصف المعدل الزمني لتبادل الشحنات بين البئر والنقاط الكمية J دالحقن Injection current (أو الضخ) و $au_s au_s au_s$ والحاملات في البئر والنقطة على التوالي .

إن الأنموذج (I واحتمالية الإشغال I يكتب بدلالة شدة مجال الليزر I واحتمالية الإشغال Occupation probability في النقاط الكمية الممتدة في الليزر , ρ , وعدد الحاملات في منطقة الترطيب (WL) , n , (WL) كما يلي :

$$\dot{I} = [-1+g(2\rho-1)] I \dots (2.4)$$

$$\dot{\rho} = \eta [F(\rho,n) - \rho - (2\rho-1)] \dots (2.5)$$

$$\dot{n} = \eta [J - n - 2F(\rho,n)] \dots (2.6)$$

المعادلات (2.4 – 2.4) بدون أبعاد dimensionless والنقطة أعلى كل من I وρ و n تُشير إلى المشتقة الأولى نسبة إلى زمن مُعاير .

العدد 2 في المعادلة رقم (2.6) يأخذ بنظر الاعتبار انحلال البرم الثنائي في مستويات الطاقة للنقطة الكمية والعدد الأخر (2) في المعادلة رقم (2.4) يدخل في تعريف معامل التحصيل , γ_n , التفاضلي g والمعامل η يمثل النسبة بين معدلي اضمحلال كل من حاملات الشحنة , γ_n , والفوتونات , γ_s , اي ($\frac{\gamma_n}{\gamma_s}$) . J يمثل تيار الضخ لكل النقاط الكمية الممتدة والدالة (η , n) و الفوتونات , تمثل تيا كل من منطقة الترطيب (WL) و النقاط الكمية الممتدة وتكتب على شكل :

F (
$$\rho$$
, n) = R^{cap} (1 - ρ) - R^{esc} ρ (2.7)

 R^{cap} اما Pauli blocking factor حيث ان المقدار (- 0) يمثل معامل عزل باولي Pauli blocking factor الحاملات بمعدل B و R^{esc} فتكتب على شكل Resc و التي تمثل أقتناص capture الحاملات بمعدل B و racap والتي تمثل معدل معدل هروب الحاملات من النقاط الكمية الممتدة نحو منطقة الترطيب وبذلك فان المعادلة (2.7) تصبح بالشكل التالى :

F(ρ,n) = Bn(1-ρ) - Rρ.....(2.8) - حيث R = R^{esc} والأنموذج (2.6 - 2.6) يصبح بالشكل التالي $\dot{I} = [-1 + g(2\rho-1)] I \dots (2.9)$ $\dot{\rho} = \eta [Bn(1-\rho) - R\rho - \rho - (2\rho - 1) I] \dots (2.10)$ $\dot{n} = \eta [J - n - 2Bn(1-\rho) - 2R\rho] \dots (2.11)$

النقطة أعلى كل من Ι و ρ و n تُشير إلى المُشتقة الأولى نسبةً إلى زمن مُعاير . في ليزرات النقطة الكمية فان آليات الهروب مهملة و توفر مواد النقاط الكمية الممتدة ربح اكبر مقارنة مع تراكيب النقاط الكمية التقليدية والذي يعني إن معامل التحصيل اكبر من الواحد [47] مع الفرض بأن لعملية هروب الحاملات تأثير كبير على خصائص الاسترخاء التي تبديها ليزرات النقاط الكمية الممتدة.

تتميز مواد النقاط الكمية الممتدة بفاصلة طاقة صغيرة بين الحالة الأرضية وطبقة الترطيب (WL) وهذا يؤدي إلى زيادة عملية الهروب من الحالة الأرضية لتحصل عملية تبادل الطاقة بين الحالة الأرضية وطبقة الترطيب . هذه العملية تشير إلى إن زمن الهروب قصير أو أن معدل الهروب R لايمكن إهماله في حالة ليزرات النقاط الكمية الممتدة بل إن له قيمة تقترب من مقلوب زمن الاقتناص أو معدل الاقتناص B, علما بأن للأخيرة قيم تتراوح بين 100 و 1000 [46] وبذلك فأن R يمكن أن تؤخذ قريبة من قيمة B الدنيا والتي تتضاءل عندها الحوادث اللحظية [47] .

الشكل (2.1) يبين رسم الطاقة في ليزر شخطة كمية وفيه تنتشر الحاملات المحقونة خلال تركيب الحصر المغاير المنفصل Separate Confinement Heterostructure (SCH) لتسترخي أو تقتنص في منطقة الترطيب (WL), ثم تسترخي إلى الحالة الأرضية Ground state (GS) في النقاط الكمية الممتدة.

$$N_{s} (SCH) \xrightarrow{I/e}_{T_{SW}} \tau_{WS}$$

$$N_{w} (WL) \xrightarrow{\tau_{WD}}_{T_{DW}} \tau_{w} \tau_{s}$$

$$N_{DH} (Qdash) \xrightarrow{\tau_{DW}} \tau_{D}$$

شكل (2.1) رسم حزمة الطاقة في حزام التوصيل ويشمل مستويات الطاقة في SCH و WL شكل (2.1) رسم حزمة الطاقة في GS و

Characteristics of quantum 2.3 dash lasers الكمية الممتدة

لغرض تحليل الفروقات بين النقاط الكمية والنقاط الكمية الممتدة (أو الأسلاك) الكمية يفترض إن النظامين حاصل فيهما انقلاب كلي أو يحدث الامتصاص في وسط غير فعال . تنبع الاختلافات أو الفروقات بين ليزر النقاط الكمية الممتدة وليزر النقطة الكمية من الفرق بين كثافتي الحالات في النظامين .

 إنخفاض ذروة معامل التحصيل كدالة لزيادة التوسع غير المتجانس في النقاط الكمية الممتدة أقل مما يحصل في النقاط الكمية . فهو ينخفض بمقدار الثلث في النقاط الكمية الممتدة بينما ينخفض بمقدار الثلثين في النقاط الكمية [35] .

2- تنزاح ذروة معامل التحصيل في النقاط الكمية الممتدة نحو الطاقات العليا مقارنة مع حالة النقاط الكمية كما وأن طيف معامل التحصيل لا يهبط الى الصفر في حالات النقاط الكمية الممتدة كما هو الحال مع النقاط الكمية مع زيادة التوسع غير المتجانس [35].

3– أن تجمع النقاط الكمية الممتدة يتكون أساساً من نقاط كمية متساوية الخواص.

4 - بسبب حصر الحاملات شبه ثلاثي الأبعاد وخواص ذاتية فأن النقاط الكمية الممتدة تبدي مميزات ليزر ثنائي مثل أنبعاث محفز واسع .

5 – إن توسع التحصيل البصري الذي يؤدي إلى انبعاث ذو عرض حزام واسع في النقاط الكمية يحصل تماماً في ليزرات النقاط الكمية الممتدة.

6 – هذهِ الصفات تجعل من إمكانية تخطي عقبات يواجهها العاملون في هندسة الأبعاد النانوية في النقاط الكمية غير المتجانسة والمستعملة في تطبيقات الليزرات واسعة الحزام .

7- إن القدرة المنبعثة والكبيرة من ليزرات النقاط الكمية الممتدة ذات الحزم فائقة التوسع في درجة حرارة الغرفة يمكن أن تستعمل بكفاءة كمصدر ضخ متناغم في تطبيقات المضخمات أو ليزرات الحالة الصلبة نوع الاريبيوم المشوبة Er doped غير المؤثرة على العين البشرية .

8 – إن الخصائص مثل فعل الليزر ضمن الحزام الواحد والواسع من هذه التراكيب النانوية المتكونة ذاتيا والمعزولة مكانيا تضمن الأستعمال في تطبيقات الأتصالات البصرية والحساسات البصرية لكشف العوامل الكيمياوية Chemicals و الغازات الجوية وبين الكواكب Planetary وعلم الطيف والمطيافية والتصوير الطبي الإحيائي Biomedical .

9 – ومن الطبيعي أن تنتج نبضات ضيقة عن طريق قفل طور الأنماط Phase mode locking في هذه الليزرات – أي ليزر النقاط الكمية الممتدة . في الفصل الثالث سندرس عددياً حركيات كل من شدة خرج ليزر النقاط الكمية الممتدة , I , وأحتمالية الأشغال في النقاط الكمية الممتدة , ρ , وتعداد الحاملات في منطقة الترطيب , n , عن طريق حل أنموذج المعادلات (2.11 – 2.9) .

الفصل الثالث

Chapter three

حركيات ليزر النقاط الكمية الممتدة

Dynamics of quantum dash laser

3.1 المقدمة

Introduction

في هذا الفصل سندرس الحركيات الشاملة لليزر نقاط كمية ممتدة عموماً وتتمثل في حساب التصرف الزمني لكل من الشدة (I) وأحتمالية اشغال الحاملات (q) في الشخطة الكمية وتعداد الحاملات (n) في منطقة الترطيب وتأثر ها جميعاً بمعامل التحصيل التفاضلي (g) وكثافة تيار الحقن (J) ومعدل الهروب (R) ونسبة معدلات اضمحلال الحاملات الى الفوتونات (η) .

Details of the mathematical 3.2 تفاصيل الأنموذج 3.2 model

الأنموذج (2.11 – 2.9) كُتِبَ أساساً لوصف حركيات ليزرات النقطة الكمية على أفتراض أن عملية الهروب ضئيلة جداً وبذلك فأن الحدين (Rp) و (Rp) في المعادلتين (2.10) و (2.11) يُهملان. في ليزرات النقاط الكمية الممتدة الوضع مختلف حيث أن معدل الهروب لايمكن التخلص منهُ [47]. معادلات الأنموذج تصف التغيرات الزمنية لكل من شدة خرج ليزر النقاط الكمية الممتدة (I), وأحتمالية الأشغال للحاملات في النقاط الكمية الممتدة (ρ), وتعداد النقاط الكمية الممتدة (I), وأحتمالية الأشغال للحاملات في النقاط الكمية الممتدة (ρ), وتعداد المحاملات (n) في منطقة الترطيب , علماً بأن الأنموذج عديم الأبعاد Dimensionless والحد الأيسر منه يُمثِل التغير الزمني أو المشتقة الأولى نسبة الى زمن مُعاير , لكل من الشدة وأحتمالية الأسعال وتعداد الحاملات . معامل التحصيل أو معامل التحصيل التفاضلي (g) المثلثة النسبة بين معدلات أصمحلال الحاملات الى أضمحلال الفوتونات (n) ومعدل الهروب (R) للحاملات وكثافة تيار الحقن (J) تأخذ قيم بتوافق مع الأخرين [47 – 25] .

3.3 ألية الحسابات

Calculation strategy

بعد اختيار شروط ابتدائية مناسبة واستعمال طريقة Runge – Kutta العددية لحل انموذج (I) , المعادلات (2.9 – 2.9) مستندين على نظام Matlab يتم استخراج قيم كل من الشدة (I) , وأحتمالية الأشغال (ρ) , وتعداد الحاملات (n) المتغيرة مع الزمن المُعاير يتم رسم علاقة كل منها مع الزمن .

Numerical simulation المحاكاة العدية 3.4 والمناقشة والمناقشة

تم تثبيت معدل الأقتناص (B) عند القيمة 100 وتغيير باقي المعاملات كما يلي :

التحصيل (g) : 4 – 2

تيار الحقن (J) : 4.5 – 1.5

معدل الهروب : 70 – 20

 $10^{-1} - 10^{-4}$: (ח) نسبة اضمحلال الحاملات الى الفوتونات



شكل (3.1) يوضح علاقة تغير شدة خرج ليزر النقاط الكمية الممتدة (I) مع تيار الحقن (J)عندما :

R=30, g=3, B=100, η =10⁻⁴

عندما $\eta=10^{-4}$, g=2, $\eta=10^{-4}$, g=2, $\eta=10^{-4}$ تتغير ضمن المدى (70 – 20) يتناقص مستوى R , J=1.5, g=2, $\eta=10^{-4}$ الحوادث اللحظية Transient مع الزمن بأضطراد . أما احتمالية الأشغال, ρ , فتبدي تراوحات تمتد إلى زمن طويل ثم تستقر عند قيمة بحدود 0.75 أما تعداد الحاملات, n, فيبدأ بذروة والتي تتناقص لتنتهي عند قيمة 0.7 تقريباً .

بتثبيت $\eta=10^{-4}$ و g=2 و Rتتغير ضمن ذات المدى 70 – 20 وتغير تيار الحقن من 1.5 إلى $\eta=10^{-4}$ بتثبيت أثر الخرج كثيراً خصوصاً الجزء المستقر من الشدة بل تزداد قيمة (n) مع الزمن كلما عنير تيار الحقن , لاحظ شكل (3.2) .



(a)





 $c: (\eta = 10^{-4}, g=2, J=4.5, R=70)$

يستمر



(c)

أنتهى

عند زيادة (η) إلى $^{-3}$ وتغير (R) و (J) ضمن المديين السابقين لهما وبثبوت (g) فأن الخرج عبارة عن حوادث لحظية والتي يتناقص تذبذبها وقد يختفي وهذا يشمل تصرف كل من (ρ) و (n) .

بزيادة (η) إلى $^{1-1}$ مروراً بـ $^{2-10}$ وg = 2 و g = 20 - 70 وR = 20 - 70 و g = 20 و(() يتغير ضمن المدى نفسه فالنتائج كالتي موضحة في الشكل (3.3) حيث يتناقص الجزء الثابت من (ρ) ويزداد الجزء الثابت من (n) و يزداد كل من الجزئين الثابت والحوادث اللحظية من الشدة .



(a)



شكل (3.3) التصرف الزمني للشدة واحتمالية الإشغال وتعداد الحاملات لقيم مختارة لكل من نسبة الاضمحلال, η, والتحصيل, g, وتيار الحقن, J, ومعدل الهروب, R, وكما يلي

a:
$$(\eta=10^{-2},g=2,J=1.5,R=20)$$
,b: $(\eta=10^{-2},g=2.J=2.5,R=20)$
c: $(\eta=10^{-2},g=2,J=4.5,R=20)$

يستمر



(c)

عند زيادة التحصيل الى (3) و $\eta=10^{-4}$ والتيار يتغير بين 1.5 و 8 R و R تتغير من 20 إلى 70 فأن شدة الخرج واطئة جداً تبدأ بمرحلة حوادث لحظية فقط ما عدا حالة R=70 .

أما بزيادة η إلى ³–10 فأن الجزء اللحظي من الخرج يظهر عندما 3.5 $\leq J$ و 40 $\leq R$. بزيادة η الى ²–10 فقط فلا وجود للجزء المتذبذب في الخرج عندما *J*=1.5 عندما *J*=2 فأنه أي الجزء المتذبذب من الخرج يظهر عندما *R*=20 فقط في حالة 2.5 *J*=4 فأن الجزء المتذبذب يظهر عندما 50 – 20 = *R* ويظهر لجميع قيم *R* عندما *J*=2 وأخيراً عندما $\eta = 10^{-1}$ فأن الخرج يُبدي تصرفات كالتي يبينها الشكل (*3.4*).



شكل (3.4) التصرف الزمني للشدة واحتمالية الإشغال وتعداد الحاملات لقيم مختارة لكل من نسبة الاضمحلال ,η, والتحصيل , g, وتيار الحقن ,J, ومعدل الهروب , R , وكما يلي

a:
$$(\eta=10^{-1},g=3,J=2.5,R=30)$$
,b: $(\eta=10^{-1},g=3,J=2.5,R=60)$,
c: $(\eta=10^{-1},g=3,J=3.5,R=20)$,
d: $(\eta=10^{-1},g=3,J=3.5,R=70)$,e: $(\eta=10^{-1},g=3,J=4.5,R=20)$,
f: $(\eta=10^{-1},g=3,J=4.5,R=70)$

يستمر


(c)

(d)



يستمر



(e)

(f)



أنتهى

في حالة g=4 و $\eta=10^{-4}$ و J و R تتغير ضمن ذات المديات المشار لهما سابقاً فأن كل من I و η و n تُبدي تر اوحات في قيمها ولجميع قيم R. أما عندما $\eta=10^{-3}$ و $\eta=1.5$ هلا وجود للتر اوحات ضمن قيم 70-20=R و R=1.5-4.5

عندما g = 4 أما في حالة $\eta = 10^{-2}$ فشدة الخرج I, وكل من ρ و n تبدي الاستجابة نفسها, g = 4 أما في حالة يتبعها جزء ثابت يستمر مع الزمن كما موضح في الشكل (3.5).

(a)

150 100 50 0 200 400 600 800 1000 Time 2 1 0.8 ⊂ 1 q 0.6 0.4^L 0[⊾] 500 Time 500 Time 1000 1000

شكل (3.5) التصرف الزمني للشدة واحتمالية الإشغال وتعداد الحاملات لقيم مختارة لكل من نسبة الاضمحلال ,η, والتحصيل, g, وتيار الحقن ,J, ومعدل الهروب ,R, وكما يلي :

a:
$$(\eta=10^{-2},g=4,J=3.5,R=20)$$
, b: $(\eta=10^{-2},g=4,J=4,R=20)$,
c: $(\eta=10^{-2},g=4,J=4.5,R=20)$

يستمر



(b)

(c)



أنتهى

عندما $\eta = 10^{-1}$ و g = 4 فلا وجود للتر اوحات لقيمة J = 1.5 و R = 70 فقط وتظهر التر اوحات لجميع قيم R عندما J = 2 .

عند ثبوت قيم كل من η و g و R وزيادة تيار الحقن J فأن الجزء الثابت من الشدة يزداد ويتناقص جزء الحوادث اللحظية كما يتضح ذلك من الشكل (3.6) .



(a)

شكل (3.6) التصرف الزمني للشدة لقيم مختارة لكل من نسبة الاضمحلال, η, والتحصيل,g, وتيار الحقن J, ومعدل الهروب, R, وكما يلي :

a:
$$(\eta=10^{-1},g=4,J=2,R=20)$$
, b: $(\eta=10^{-1},g=4,J=3,R=20)$,
c: $(\eta=10^{-1},g=4,J=4,R=20)$

يستمر



(c)

أنتهى

عند ثبوت كل من g و J و R وزيادة نسبة معدلات الأسترخاء لكل من حاملات الشحنة والفوتونات فأن الجزء الثابت يزداد وتتناقص فترة الحوادث اللحظية كما يتبين ذلك من الشكل (3.7) .

(a)



تتكل (3.7) التصرف الزمني للشدة واحتماليه الإشغال وتعداد الحاملات لقيم مختارة لكل من g نسبة الإضمحلال ${
m g}$ ولام والتحصيل g وتيار الحقن J ومعدل الهروب R وكما يلي : a:(${
m q}=10^{-1},{
m g}=4,{
m J}=4.5,{
m R}=20)$, b : (${
m q}=10^{-2}$, ${
m g}=4,{
m J}=4.5,{
m R}=20)$ c:(${
m q}=10^{-3},{
m g}=4,{
m J}=4.5,{
m R}=20)$, d:(${
m q}=10^{-4},{
m g}=4,{
m J}=4.5,{
m R}=20)$ يستمر



(b)

(c)



يستمر



(d)

عند ثبوت J و η وg وزيادة معدل الهروب فأن الجزء الثابت يتناقص ليزداد جزء الحوادث اللحظية أنظر شكل (3.8) .

(a)



شكل (3.8) التصرف الزمني للشدة لقيم مختارة لكل من نسبة الاضمحلال ,η, والتحصيل , g , وتيار الحقن ,J, ومعدل الهروب ,R, وكما يلي :

a:
$$(\eta=10^{-1},g=4,J=2,R=20),b:(\eta=10^{-1},g=4,J=2,R=30),$$

c: $(\eta=10^{-1},g=4,J=2,R=40),$
d: $(\eta=10^{-1},g=4,J=2,R=50),e:(\eta=10^{-1},g=4,J=2,R=60)$

يستمر

34







بثبوت كل من η و J و R وزيادة التحصيل g يزداد الجزء الثابت من شدة الخرج ويتناقص مدى جزء الحوادث اللحظية كما يتبين ذلك من الشكل (3.9) .

(a)



شكل (3.9) التصرف الزمني للشدة لقيم مختارة لكل من نسبة الاضمحلال ,η, والتحصيل, g, وتيار الحقن ,J, ومعدل الهروب, R, وكما يلي :

a:
$$(\eta=10^{-1},g=2,J=2.5,R=20),b:(\eta=10^{-1},g=3,J=2.5,R=20),c:(\eta=10^{-1},g=4,J=2.5,R=20)$$

يستمر



تتميز ليزرات النقاط الكمية الممتدة بأن لها معدل هروب ($au_{
m esc}^{-1}$ حيث $au_{
m esc}$ زمن الهروب) كبير [48] وان المواد المصنوعة منها توفر تحصيلاً مرتفعاً مقارنة مع تراكيب النقطة الكمية وبحدود cm^{-1} (dm (dm – dm) cm^{-1} والذي يعني أن معامل التحصيل التفاضلي اكبر من الواحد

كما وتتميز مادة النقاط الكمية الممتدة بفاصلة طاقة صغيرة بين الحالة الارضية GS ومنطقة الترطيب WL والتي تؤدي الى زيادة معدلات الهروب من الحالة الارضية مقارنة مع ليزرات النقاط الكمية ويحصل على هذا الأساس تبادل طاقة سريع بين الحالة الارضية ومنطقة الترطيب [11,38] . وبذلك يمكن القول أن زمن هروب حاملات الشحنة $au_{
m esc}$ يكون أقل من مقدار زمن الأقتناص $au_{
m cap}$ و عليه فأن قيم R و B المأخوذة في هذا العمل مقبولة .

أن النتائج المستحصلة في هذا الفصل تؤكد تأثير المعدل $au_{
m esc}^{-1}$ على طول وطبيعة دورات تذبذب الاسترخاء Erneux والعاملين معه $Relaxation\ oscillation\ periods$. [47] .

Conclusions

3.5 الأستنتاجات

درسنا حركيات ليزر شبه الموصل نوع النقاط الكمية الممتدة تحت تأثير نسبة معدلات أسترخاء الحاملات الى الفوتونات (η) وتيار الحقن (J) ومعامل التحصيل التفاضلي (g) ومعدل الأسترخاء من النقاط الكمية (η) وتيار الحقن (J) ومعامل التحصيل التفاضلي (g) ومعدل الأسترخاء من النقاط الكمية (η) وتيار الحقن (J) ومعامل التحصيل التفاضلي (g) ومعدل الأسترخاء من النقاط الكمية (η) وتيار الحقن (I) ومعامل التحصيل التفاضلي (g) ومعامل التحصيل التفاضلي (g) ومعال الحاملات الح

حُددت قيم كل من η و J و g و R التي تحدَّ من منطقة الحوادث اللحظية وزيادة شدة الليزر في المنطقة الثابتة من الخرج .

في الفصل الرابع سندرس أثر عملية تضمين تيار الحقن على حركيات ليزر النقاط الكمية الممتدة

الفصل الرابع

Chapter four

تضمين تيار الحقن المباشر في ليزر النقاط الكمية الممتدة

Directed modulation of quantum dash semiconductor laser

Introduction

تصنف الليزرات المختلفة إلى ثلاث أصناف استناداً إلى العلاقة بين معدلات , γ_{\perp} , كل من المجال الكهربائي K, واستقطاب الوسط Relaxation rate استرخاء وفرق التعداد. $\gamma_{\perp} \gg K \ge \gamma_{\parallel}$) فيطلق على شكل ($\gamma_{\perp} \gg K \ge \gamma_{\parallel}$) فيطلق على وفرق التعداد. و $\gamma_{\perp} \gg K \ge \gamma_{\parallel}$ الليزرات التي تنضوى تحت هذه العلاقة انها من الصنف B حيث يسترخى استقطاب الوسط سريعاً والنظام الناتج يوصف بمعادلتين رياضيتين من الدرجة الأولى الأولى تصف التغير الزمني للمجال الكهربائي لشعاع الليزر والأخرى تصف التغير الزمني لفرق التعداد في الوسط تقع ليزرات أشباه الموصلات عموماً ضمن هذا الصنف من الليزرات في هذه الحالة فأن تصرفات الليزر سواء المجال الكهربائي أو فرق التعداد تكون في أقصاها دورية أو مستقرة تماماً . ويقال إن نظام ليزرات أشباه الموصلات يمتلك درجتين من الحرية Two degrees of freedom . هنالك أكثر من طريقة لاستحداث الدرجة الثالثة التي تؤهل نظام ليزرات أشباه الموصلات لأن يبدي حركيات دورية ولا دورية وفوضوية ومن أحداها تضمين تيار الحقن Injection current modulation [48] . تتمتع ليزرات أشباه الموصلات بأفضلية في حالة تضمين التيار المباشر مقارنة مع الليزرات الأخرى . إن تيار التضمين نفسه يعمل كتيار انحياز bias وكتيار تضمين وهذا يسهل الدوائر الكهربائية الخارجية مقارنة مع التضمين الخارجي الذي يحتاج عدة تيارات

خلال السنوات العشر الأخيرة أزداد الأهتمام بأستعمال ليزرات أشباه الموصلات مضمنة التيار المباشر في أنظمة الأتصالات البصرية السريعة لأنها واطئة الكلفة وحجمها مدمج وأنخفاض قدرة تشغيلها وذات قدرة خرج مرتفعة نسبيا مقارنة مع أنظمة التضمين الخارجية .

إن قدرة خرج ليزرات أشباه الموصلات تعتمد على تيار الحقن وبذلك فأن هذا النوع من التضمين لتيار الحقن يؤدي إلى تضمين قدرة خرج الليزر نفسها . ولما كان معامل انكسار الوسط الفعال في ليزر شبه الموصل وطول تجويف الليزر أيضا دالتان لتيار الحقن [50] فان الليزر تعاني من تضمين في سعة خرجها وطيف إشعاعها .

من ناحية النمذجة فأن استعمال التضمين المباشر يعني إن ليزر شبه الموصل يصبح نظام لاخطي مُقاد Driven nonlinear system يتمتع بحركيات معقدة محتملة ولقد أصبح معروفاً بأن التضمين البسيط الدوري عالي التردد وذا سعة مرتفعة يمكن أن يؤدي إلى ظو اهر لاخطية مثل سلسلة مضاعفة الدورة Period doubling و اللا دوريات Aperiodicity و الفوضى Chaos والفوضى Chaos [51-53].

إن حركيات كافة أنواع ليزرات أشباه الموصلات قد درست تحت تأثير تضمين التيار من الناحيتين العملية والنظرية ما عدا ليزرات النقطة الكمية عمليا [54] ونظريا [55] بشكل محدود جدا ولا وجود لبحوث مختصة بدراسة حركيات ليزرات النقاط الكمية الممتدة بتأثر التضمين المباشر ما عدا بحثا واحدا يتضمن عمل الليزر بتضمين الحقن البصري [16] .

4.2 الأنموذج الحسابي 4.2

إن الأنموذج المستعمل في در اسة تأثير تضمين تيار الحقن على حركيات النقاط الكمية الممتدة تم ذكر تفاصيله في الفصل الثاني , أي المعادلات (2.11- 2.2) وهو انموذج يتكون من ثلاث معادلات طرفه الأيسر يمثل المشتقة الأولى لكل من شدة خرج الليزر, إ واحتمالية إشغال النقاط الكمية الممتدة في الليزر, ρ , وعدد الحاملات في منطقة الترطيب لكل نقطة كمية ممتدة , n , تم عملية تضمين تيار الحقن حسابياً عن طريق كتابة تيار الحقن , J , الوارد في المعادلة (2.11) عملية تضمين تيار الحقن حسابياً عن طريق كتابة تيار الحقن , J , الوارد في المعادلة (2.11) على شكل جزئيين الأول ثابت J_b والأخر متغير مع الزمن ويكتب على شكل (ω) , sin ω t حيث إلى حيث J_a المترد الزاوي او تردد التضمين الزاوي و f_m تمثل تردد التضمين وبذلك تصبح معادلة تيار الحقن الكلي كما يلي :

 $J = J_b + J_a \sin(2\pi f_m t)$ (4.1)

System parameters

الجدول (4.1) يوضح مديات هذه الثوابت جميعا والمستعملة في هذا الفصل .

dc	ас		
(<i>J_b</i>)	(J_a)		
2	0.5	1	1.5
3	1	2	2.5
4	1	2	3

جدول (4.1) قيم المعاملات المستعملة في المحاكاة

 $\eta = 10^{-4} - 10^{-3}$

g=2 - 4

 $f_m = 10^6 - 10^{12} \text{ Hz}$

R=30, 50, 70

B=100

4.4 نتائج المحاكاة

Simulation results

والمناقشة

and discussion

أنموذج المعادلات (4.1, 2.11 – 2.9) تم حلها عدديا باستعمال طريقة Runge – Kutta العددية ذات المرتبة الرابعة ونظام Matlab معتمدين على شروط ابتدائية مختارة وخطوة تكامل صغيرة .

تم عرض النتائج في أدناه على شكل تغير الشدة مع الزمن فقط لأنها الأهم والمقيد الأول والأخير. لأستعمال ليزرات أشباه الموصلات في أجهزة الأتصالات .

(4.4.1) R=30, g=2, η=10⁻³, f_m=10⁶ - 10¹²Hz, J_b=2,J_a=0.5,1,1.5 (i) نتائج التغير الزمني لشدة خرج الليزر مبينة في الشكل (4.1) حيث أن الخرج في الغالب نبضة منفردة فقط أو نبضة ضيقة تبعها الخرج الأعتيادي .

R=30, g=3, η =10⁻³, f_m =10⁶ - 10¹²Hz, J_b =2, J_a =0.5,1,1.5 (ii)

شدة الخرج عبارة عن نبضة ضيقة جداً يتبعها مدى تختفي فيه الشدة ليظهر الخرج الأعتيادي , أي منطقة حوادث لحظية تمتد لفترات متغيرة بعدها يزداد الخرج بأضطراد مع الزمن هذا الجزء الثابت والمتزايد من الخرج يبدأ بالأنخفاض كلما زاد التردد ليتحول الخرج بأكمله الى سلسلة من النبضات الضيقة بفواصل زمنية غير متساوية كما يتضح ذلك من الشكل (4.2) ثم يكون الخرج عبارة عن نبضة كبيرة ضيقة جداً قد يتبعها نبضة أو نبضات أصغر كثيراً بالمقدار وبفواصل زمنية مختلفة . أن أختفاء الخرج لمديات كبيرة بين النبضات هو حالة من أنهيار التشاكه أو ما يسمى أنحطاط الخرج .

R=30, g=4,
$$\eta$$
=10⁻³, f_m =10⁶ - 10¹²Hz, J_b =2, J_a =0.5,1,1.5 (iii)

يبدأ الخرج بمنطقة الحوادث اللحظية يتبعها خرج يزداد مع الزمن ليتحول الى نبضات كل واحدة منها عبارة عن منطقة حوادث لحظية يتبعها الجزء الثابت الذي يضمحل مع الزمن عمر أم يتناقص مع زيادة الجزء المتغير من تيار الحقن ليتحول عند تردد $f_m = 10^8 {
m Hz}$ الى دورة أربعة عند $J_a = 0.5$ والى دورة واحدة عند $J_a = 1.5$ بعد أن تكون قد مرت النبضة الأساسية .

مع زيادة التردد ومرور منطقة الحوادث اللحظية يستمر الخرج بدورة واحدة ذات تردد عالي J_a وذات سعة واطئة أيضاً ثم تظهر حالة فوضوية عندما $f_m = 10^{12}$ Hz و $f_m = 0.5, 1, 1.5$ والشكل (4.3) يوضح النتائج.

R=30, g=2,
$$\eta$$
=10⁻³, f_m =10⁶ - 10¹²Hz, J_b =3, J_a =1,2,2.5 (iv)

الخرج في هذهِ الحالة يسلك ذات السلوك الملاحظ في النقطة السابقة عدا ظهور حالات فوضوية محدودة و عند زيادة التردد الى 10¹¹ Hz و 10¹² Hz تظهر حالات فوضوية بعد أن تكون مرت منطقة الحوادث اللحظية كما يتضح من الشكل (4.4).

R=30, g=3,
$$\eta$$
=10⁻³, f_m =10⁶ - 10¹²Hz, J_b =3, J_a =1,2,2.5 (v)

يبدأ الخرج أيضاً بعد مرور منطقة حوادث لحظية يتبعها خرج مستقر يتزايد مع الزمن لينشطر الى دورة واحدة ثم سلسلة نبضات كل واحدة منها تشبه خرج الليزر الاعتيادي المضمحل مع الزمن بفواصل زمنية غير متساوية وبأشكال نبضية مختلفة من تردد الى تردد أو من تيار متغير الى اُخر ثم يستقر الخرج بدورة واحدة واُخر بحالات فوضوية محدودة ليعود خرج الليزر مستقر تماماً ثابت مع الزمن وعند تردد Hz معوداً فأن خرج الليزر يتحول الى فوضى تامة , كما في الشكل (4.5).



شكل (4.1) التصرف الزمني للشدة في ليزرات أشباه الموصلات نوع النقاط الكمية الممتدة لمجموعة المعاملات (n,g,f(Hz),R,J_b,J_a) حيث أن :

a: R=30, g=2,
$$\eta=10^{-3}$$
, $f_m=10^6$, $J_b=2$, $J_a=1$
b: R=30, g=2, $\eta=10^{-3}$, $f_m=10^6$, $J_b=2$, $J_a=1.5$
c:R=30, g=2, $\eta=10^{-3}$, $f_m=10^7$, $J_b=2$, $J_a=1.5$
d:R=30, g=2, $\eta=10^{-3}$, $f_m=10^8$, $J_b=2$, $J_a=0.5$
e: R=30, g=2, $\eta=10^{-3}$, $f_m=10^{10}$, $J_b=2$, $J_a=0.5$
f: R=30, g=2, $\eta=10^{-3}$, $f_m=10^{10}$, $J_b=2$, $J_a=1.5$
h:R=30, g=2, $\eta=10^{-3}$, $f_m=10^{11}$, $J_b=2$, $J_a=1.5$
h:R=30, g=2, $\eta=10^{-3}$, $f_m=10^{12}$, $J_b=2$, $J_a=0.5$

يستمر



أنتهى



شكل (4.2) التصرف الزمني للشدة في ليزرات أشباه الموصلات نوع النقاط الكمية الممتدة لمجموعة المعاملات (n,g,f(Hz),R,J_b,J_a) حيث أن :

a:R=30, g=3, $\eta=10^{-3}$, $f_m=10^6$, $J_b=2$, $J_a=1.5$ b:R=30, g=3, $\eta=10^{-3}$, $f_m=10^7$, $J_b=2$, $J_a=0.5$ c:R=30, g=3, $\eta=10^{-3}$, $f_m=10^7$, $J_b=2$, $J_a=1.5$ d:R=30, g=3, $\eta=10^{-3}$, $f_m=10^8$, $J_b=2$, $J_a=0.5$ e: R=30, g=3, $\eta=10^{-3}$, $f_m=10^8$, $J_b=2$, $J_a=1.5$ f: R=30, g=3, $\eta=10^{-3}$, $f_m=10^{10}$, $J_b=2$, $J_a=1$ g:R=30, g=3, $\eta=10^{-3}$, $f_m=10^{11}$, $J_b=2$, $J_a=1$

يستمر



أنتهى



شكل (4.3) التصرف الزمني للشدة في ليزرات أشباه الموصلات نوع النقاط الكمية الممتدة لمجموعة المعاملات (n,g,f(Hz),R,J_b,J_a) حيث أن :

a:R=30, g=4,
$$\eta$$
=10⁻³, f_m =10⁶, J_b =2, J_a = 1.5
b: R=30, g=4, η =10⁻³, f_m =10⁷, J_b =2, J_a =1.5
c: R=30, g=4, η =10⁻³, f_m =10⁸, J_b =2, J_a =0.5
d: R=30, g=4, η =10⁻³, f_m =10⁸, J_b =2, J_a =1
e: R=30, g=4, η =10⁻³, f_m =10⁹, J_b =2, J_a =1.5
f: R=30, g=4, η =10⁻³, f_m =10¹⁰, J_b =2, J_a =1
h:R=30, g=4, η =10⁻³, f_m =10¹¹, J_b =2, J_a =0.5
i:R=30, g=4, η =10⁻³, f_m =10¹², J_b =2, J_a =0.5
j: R=30, g=4, η =10⁻³, f_m =10¹², J_b =2, J_a =1
k:R=30, g=4, η =10⁻³, f_m =10¹², J_b =2, J_a =1.5



أنتهى





يستمر



انتهى

R=30, g=4, η=10⁻³, f_m =10⁶ – 10¹²Hz, J_b =3, J_a =1,2,2.5 (vi) لايوجد فرق في النتائج في هذا الجزء عن الحالة السابقة .

R=30, g=2,
$$\eta$$
=10⁻³, f_m =10⁶ - 10¹²Hz, J_b =4, J_a =1,2,3 (vii)

الخرج يشبه الحالة السابقة فهو خليط بين دورة واحد وسلسلة نبضات متباعدة عن بعض وخرج اعتيادي يتحول الى فوضوي .

R=30, g=3, η =10⁻³, f_m =10⁶ – 10¹²Hz, J_b =4, J_a =1,2,3 (viii) الخرج لا يختلف عن الحالة السابقة.

R=30, g=2,
$$\eta$$
=10⁻⁴, f_m =10⁶ - 10¹² Hz, J_b =2, J_a =0.5,1,1.5 (x)

الخرج يبدأ بنبضة منفردة ضيقة مرتفعة عند تردد Hz والذي يتحول الى خرج اعتيادي أي نبضة منفردة يتبعها مباشرة منطقة الحوادث اللحظية ثم خرج مستقر يزداد مع الزمن الذي ينشطر الى سلسلة نبضات متشابهة تتكون كل واحدة منها من منطقة حوادث لحظية وجزء مستقر يضمحل مع الزمن يفصل بين النبضات فواصل زمنية ليتحول الى دورة أثنين ثم دورة واحد ليتحول الى فوضى متوسطة .

R=30, g=2,
$$\eta$$
=10⁻⁴, f_m =10⁶-10¹² Hz, J_b =3, J_a =1,2,2.5 (xi)

يبدأ الخرج بحوادث لحظية يتبعهُ جزء مستقر متزايد مع الزمن يتحول الى دورة واحدة ثم الى نبضات متشابهة متباعدة عن بعض ثم دورة واحدة بأشكال مختلفة ليعود مستقراً ثم يدخل في حالة فوضوية . كما موضح ذلك في الشكل (4.6).

R=30, g=2, η =10⁻⁴, f_m =10⁶-10¹² Hz, J_b =4, J_a =1,2,3 (xii) لا يختلف التصرف هنا عن الحالة السابقة.

R=30, g=3,
$$\eta$$
=10⁻⁴, f_m =10⁶-10¹² Hz, J_b =2, J_a =0.5,1,1.5 (xiii)

يبدأ الخرج إعتيادي. أن منطقة الحوادث اللحظية طويلة يتبعها جزء مستقر ثابت مع الزمن يتحول الى سلسلة من النبضات المتباعدة كثيراً عن بعض ثم يتحول الى نبضات واطئة الارتفاع محدودة العدد ويستمر الى غاية التردد Hz 10¹² .



شكل (4.6) التصرف الزمني للشدة في ليزرات أشباه الموصلات نوع النقاط الكمية الممتدة لمجموعة المعاملات (n,g,f,R(Hz),J_b,J_a) حيث أن :

> a: R=30, g=2, η =10⁻⁴, f_m =10⁶, J_b =3, J_a =1 b: R=30, g=2, η =10⁻⁴, f_m =10⁷, J_b =3, J_a =1 c: R=30, g=2, η =10⁻⁴, f_m =10⁸, J_b =3, J_a =1 d: R=30, g=2, η =10⁻⁴, f_m =10¹⁰, J_b =3, J_a =2 e: R=30, g=2, η =10⁻⁴, f_m =10¹⁰, J_b =3, J_a =1 f: R=30, g=2, η =10⁻⁴, f_m =10¹¹, J_b =3, J_a =1 g: R=30, g=2, η =10⁻³, f_m =10¹², J_b =3, J_a =1



R=30, g=3,
$$\eta$$
=10⁻⁴, f_m =10⁶-10¹² Hz, J_b =3, J_a =1,2,2.5 (xiv)

الخرج يبدأ أعتيادي مع جزء مستقر يزداد مع الزمن لينشطر الى سلسلة من النبضات الاحادية المتباعدة بأزمان ثابتة ليعود الى خرج مستقر ثابت مع الزمن ثم ينتهي عند ترددات عالية بحالة فوضوية كما يتضح ذلك من الشكل (4.7).

R=30, g=3, η =10⁻⁴, f_m =10⁶-10¹² Hz, J_b =4, J_a =1,2,3 (xv)

في هذهِ الحالة فأن الخرج لا يختلف كثيراً عن الحالة السابقة مع زيادة كل من التردد أو الجزء المتغير من تيار الحقن .

R=30, g=4,
$$\eta$$
=10⁻⁴, f_m =10⁶-10¹² Hz, J_b =2, J_a =0.5,1,1.5 (xvi)

يبدي الخرج غنى ملحوظ من الحركيات يتراوح بين الاعتيادي وسلسلة النبضات وخرج فوضوي وبدورة أثنين لينتهي بحالة فوضوية .

R=30, g=4, η =10⁻⁴, f_m =10⁶-10¹² Hz, J_b =3, J_a =1,2,2.5 (xvii) في هذهِ الحالة أيضاً الخرج لا يختلف عن الحالة السابقة .

R=30, g=4,
$$\eta$$
=10⁻⁴, f_m =10⁶-10¹² Hz, J_b =4, J_a =1,2,3 (xviii)

يبدأ الخرج كما في الحالة السابقة بجزء حوادث لحظية يتبعهُ جزء اّخر مستقر يزداد مع الزمن ليتحول الى دورة واحدة ودورة أثنين ليعود من جديد الى دورة واحدة ثم حالة فوضوية.

(4.4.2)

R=50, g=2, η=10⁻³,
$$f_m$$
=10⁶-10¹² Hz, J_b =2, J_a =0.5,1, 1.5 (i)
الخرج ضئيل جداً ومحدد بتر ددينHz و 10⁶ Hz و 10⁷ Hz .

R=50, g=2,
$$\eta$$
=10⁻³, f_m =10⁶-10¹² Hz, J_b =3, J_a =1,2,2.5 (ii)

يبدأ الخرج بحوادث لحظية ونبضة واطئة طويلة تتضاءل مع الزمن ثم خرج عبارة عن نبضة منفردة ضيقة ذات سعة متوسطة والتي ينخفض كثيراً لتتحول الى نبضة خرج ليزر اعتيادية تتأخر ولادتها كثيراً مع الزمن .

R=50, g=2,
$$\eta$$
=10⁻³, f_m =10⁶-10¹² Hz, J_b =4, J_a =1,2,3 (iii)

يبدأ الخرج أعتيادي يتكون من منطقة حوادث لحظية يتبعها جزء مستقر مع الزمن يتحول الى سلسلة من النبضات ذات الدورة أثنين متباعدة بمسافة ثابتة مع الزمن ثم الى خرج اعتيادي بدورة واحدة يتحول حالة فوضوية . كما يتضح ذلك في الشكل (4.8).

R=50, g=3, η =10⁻³, f_m =10⁶-10¹² Hz, J_b =2, J_a =0.5,1,1.5 (iv) الخرج عبارة عن نبضة ضيقة جداً ومرتفعة .



شكل (4.7) التصرف الزمني للشدة في ليزرات أشباه الموصلات نوع النقاط الكمية الممتدة لمكل (4.7) المجموعة المعاملات ($\eta, g, f(\mathrm{Hz}), \mathrm{R}, J_b, J_a$) حيث أن

a: R= 30, g=3, $\eta=10^{-4}$, $f_m=10^6$, $J_b=3$, $J_a=1$ b: R=30, g=3, $\eta=10^{-4}$, $f_m=10^7$, $J_b=3$, $J_a=1$ c: R=30, g=3, $\eta=10^{-4}$, $f_m=10^8$, $J_b=3$, $J_a=1$ d: R=30, g=3, $\eta=10^{-4}$, $f_m=10^9$, $J_b=3$, $J_a=1$ e: R=30, g=3, $\eta=10^{-4}$, $f_m=10^{10}$, $J_b=3$, $J_a=1$ f: R=30, g=3, $\eta=10^{-4}$, $f_m=10^{11}$, $J_b=3$, $J_a=1$

R=50, g=3,
$$\eta$$
=10⁻³, f_m =10⁶-10¹² Hz, J_b =3, J_a =1,2,2.5 (v)

يبدأ الخرج بمرحلة حوادث لحظية يتبعها جزء مستقر متزايد مع الزمن ثم نبضات متكررة متباعدة مع الزمن ثم يعود الى دورة أثنين ليتحول الى دورة واحدة ثم خرج اعتيادي يتبعهُ خرج فوضوي كما موضح ذلك في الشكل (4.9).

R=50, g=3, η =10⁻³, f_m =10⁶-10¹² Hz, J_b =4, J_a =1,2,3 (vi) لا يختلف الخرج هنا عن الحالات السابقة .

R=50, g=4,
$$\eta$$
=10⁻³, f_m =10⁶-10¹² Hz, J_b =2, J_a =0.5,1,1.5 (vii)

الخرج يبدأ اعتيادي متأخر مع الزمن والذي يبدأ بالتقدم مع الزمن مع زيادة الجزء المتغير من تيار الحقن جزؤهُ الثابت يتضاءل مع الزمن عند ترددات واطئة ليتحول بعد ذلك لجميع الترددات وتيار الحقن المتغير الى نبضة ضيقة جداً ومرتفعة .

R=50, g=4, η =10⁻³, f_m =10⁶-10¹² Hz, J_b =3, J_a =1,2,2.5 (viii) الخرج موضحاً في الشكل (4.10).

R=50, g=4,
$$\eta$$
=10⁻³, f_m =10⁶-10¹² Hz, J_b =4, J_a =1,2,3 (ix)

الخرج يبدأ بحوادث لحظية يتبعها جزء مستقر يزداد مع الزمن ليتحول الى دورة واحدة بأشكال مختلفة ليعود الى خرج اعتيادي جداً والذي يتحول الى حالة فوضوية .

R=50, g=2,
$$\eta$$
=10⁻⁴, f_m =10⁶-10¹² Hz, J_b =2, J_a =0.5,1,1.5 (x)

الخرج عبارة عن نبضة منفردة فقط

R=50, g=2, η =10⁻⁴, f_m =10⁶-10¹² Hz, J_b =3, J_a =1,2,2.5 (xi)

يبدأ الخرج اعتيادي بنبضة منفردة مرتفعة يتبعها جزء الحوادث اللحظية ثم جزء مستقر ليتحول مع زيادة التردد الى نبضة منفردة .

R=50, g=2, η =10⁻⁴, f_m =10⁶-10¹² Hz, J_b =4, J_a =1,2,3 (xii)

R=50, g=3, η =10⁻⁴, f_m =10⁶-10¹² Hz, J_b =2, J_a =0.5,1,1.5 (xiii) الخرج عبارة عن نبضة منفردة .

R=50, g=3,
$$\eta$$
=10⁻⁴, f_m =10⁶-10¹² Hz, J_b =3, J_a =1,2, 2.5 (xiv)
الخرج اعتيادي جزؤه المستقر يزداد مع الزمن لينتهي بحالة فوضوية .



شكل (4.8) التصرف الزمني للشدة في ليزرات أشباه الموصلات نوع النقاط الكمية الممتدة لمجموعة المعاملات (η,g,f(Hz),R,J_b,J_a) حيث أن :

a: R=50, g=2, η =10⁻³, f_m =10⁸, J_b =4, J_a =1 b: R=50, g=2, η =10⁻³, f_m =10⁹, J_b =4, J_a =1 c: R=50, g=2, η =10⁻³, f_m =10¹², J_b =4, J_a =1



a: R=50, g=3, η =10⁻³, f_m =10⁶, J_b =3, J_a =1 b: R=50, g=3, η =10⁻³, f_m =10⁷, J_b =3, J_a =1 c: R=50, g=3, η =10⁻³, f_m =10⁸, J_b =3, J_a =1 d: R=50, g=3, η =10⁻³, f_m =10⁹, J_b =3, J_a =1 e: R=50, g=3, η =10⁻³, f_m =10¹⁰, J_b =3, J_a =1 f: R=50, g=3, η =10⁻³, f_m =10¹¹, J_b =3, J_a =1



شكل (4.10) التصرف الزمني للشدة في ليزرات أشباه الموصلات نوع النقاط الكمية الممتدة لمكل ($\eta,g,f(\mathrm{Hz}),\mathrm{R},J_b,J_a$) لمجموعة المعاملات (

a: R=50, g=4, η =10⁻³, f_m =10⁶, J_b =3, J_a =1 b: R=50, g=4, η =10⁻³, f_m =10⁷, J_b =3, J_a =1 c: R=50, g=4, η =10⁻³, f_m =10⁸, J_b =3, J_a =1 d: R=50, g=4, η =10⁻³, f_m =10¹⁰, J_b =3, J_a =1 e: R=50, g=4, η =10⁻³, f_m =10¹¹, J_b =3, J_a =1 f: R=50, g=4, η =10⁻³, f_m =10¹¹, J_b =3, J_a =1 g: R=50, g=4, η =10⁻³, f_m =10¹², J_b =3, J_a =1

يستمر


أنتهى

R=50, g=3,
$$\eta$$
=10⁻⁴, f_m =10⁶-10¹² Hz, J_b =4, J_a =1,2,3 (xv)
الخرج متنوع الحركيات كما يتضح ذلك من الشكل (4.11).

R=50, g=4,
$$\eta$$
=10⁻⁴, f_m =10⁶-10¹² Hz, J_b =2, J_a =0.5,1,1.5 (xvi)

يبدأ الخرج اعتيادي زمن تأخره يتناقص مع زيادة الجزء المتغير من تيار الحقن ليتحول الى نبضات متباعدة عن بعض يسبق الجميع في كل الاحوال نبضة واحدة كبيرة ضيقة .

R=50, g=4,
$$\eta$$
=10⁻⁴, f_m =10⁶-10¹² Hz, J_b =3, J_a =1,2,2.5 (xvii)

الخرج يبدأ بمنطقة الحوادث اللحظية يتبعها جزء مستقر يزداد مع الزمن ليتحول الى نبضات يزداد تباعدها مع زيادة الجزء المتغير من تيار الحقن فيتحول الخرج بعد ذلك الى دورة واحد ثم يتجه الى الحالة الفوضوية .

R=50, g=4,
$$\eta$$
=10⁻⁴, f_m =10⁶-10¹² Hz, J_b =4, J_a =1,2,3 (xviii)

يبدأ الخرج كما في الحالة السابقة بجزء الحوادث اللحظية يتبعهُ جزء مستقر يزداد مع الزمن لينشطر الى دورة واحدة ثم الى دورتين مركبة على دورة واحدة ثم يعود الخرج مستقر ليتحول الى حالة فوضوية .

R=70, g=2, η =10⁻⁴, f_m =10⁶-10¹² Hz, J_b =4, J_a =1,2,3 (ii)

يبدأ الخرج اعتيادي جزؤه المستقر يزداد مع الزمن لينشطر الى سلسلة من النبضات التي تشكل خرجاً غير مستقر ويتحول الى خرج مستقر مرة أخرى ويعود من جديد الى حالة فوضوية محدودة كما يتضح ذلك في الشكل (4.12).

R=70, g=3, η=10⁻⁴, f_m =10⁶-10¹² Hz, J_b =2, J_a =0.5,1,1.5 (iii) الخرج عبارة عن نبضة كبيرة ضيقة .

R=70, g=3,
$$\eta$$
=10⁻⁴, f_m =10⁶-10¹² Hz, J_b =3, J_a =1,2,2.5 (iv)

الخرج اعتيادي جزؤة المستقر يزداد مع الزمن لينشطر الى نبضات متشابهة متباعدة عن بعضها البعض ليتحول الى خرج فوضوي . كما يتضح ذلك من الشكل (4.13).

R=70, g=3,
$$\eta$$
=10⁻⁴, f_m =10⁶-10¹² Hz, J_b =4, J_a =1,2,3 (v)

لا يختلف الخرج في هذهِ الحالة عن الحالة السابقة .





أنتهى



شكل (4.12) التصرف الزمني للشدة في ليزرات أشباه الموصلات نوع النقاط الكمية الممتدة لمجموعة المعاملات $(\eta,g,f(\mathrm{Hz}),\mathrm{R},J_b,J_a)$ حيث أن :

a: R=70, g=2, η =10⁻³, f_m =10⁶, J_b =4, J_a =1 b: R=70, g=2, η =10⁻⁴, f_m =10⁷, J_b =4, J_a =1 c: R=70, g=2, η =10⁻³, f_m =10⁸, J_b =4, J_a =1 d: R=70, g=2, η =10⁻⁴, f_m =10⁹, J_b =4, J_a =1 e: R=70, g=2, η =10⁻³, f_m =10¹⁰, J_b =4, J_a =1 f: R=70, g=2, η =10⁻⁴, f_m =10¹¹, J_b =4, J_a =1



من جديد يبدأ الخرج كما في الحالة السابقة ليمر بدورة أثنين وينتهي بحالة فوضوية كما يتضح ذلك من الشكل (4.14).

R=70, g=4,
$$\eta$$
=10⁻⁴, f_m =10⁶-10¹² Hz, J_b =4, J_a =1,2,3 (viii)

(a)

2000

Time

الشكل (4.15) يبين طبيعة الخرج.

(b)

20 15 15 - 10 - 10 4000 1000 2000 3000 5000 1000 2000 4000 3000 5000 Time Time (c) (d) 20 20 15 15 - 10 - 10

شكل (4.14) التصرف الزمني للشدة في ليزرات أشباه الموصلات نوع النقاط الكمية الممتدة لمكل (4.14) المحموعة المعاملات (η,g,f(Hz),R,J_b,J_a) حيث أن :

1000

2000

Time

3000

4000

5000

a: R=70, g=4, η =10⁻⁴, f_m =10⁶, J_b =3, J_a =1 b: R=70, g=4, η =10⁻⁴, f_m =10⁷, J_b =3, J_a =1 c: R=70, g=4, η =10⁻⁴, f_m =10⁸, J_b =3, J_a =1 d: R=70, g=4, η =10⁻⁴, f_m =10¹², J_b =3, J_a =1

68



شكل (4.15) التصرف الزمني للشدة في ليزرات أشباه الموصلات نوع النقاط الكمية الممتدة لمجموعة المعاملات (n,g,f(Hz),R,J_b,J_a) حيث أن :

a: R=70, g=4,
$$\eta$$
=10⁻⁴, f_m =10⁶, J_b =4, J_a =1
b: R=70, g=4, η =10⁻⁴, f_m =10⁷, J_b =4, J_a =1
c: R=70, g=4, η =10⁻⁴, f_m =10⁸, J_b =4, J_a =1
d: R=70, g=4, η =10⁻⁴, f_m =10⁸, J_b =4, J_a =2
e: R=70, g=4, η =10⁻⁴, f_m =10⁸, J_b =4, J_a =3
f: R=70, g=4, η =10⁻⁴, f_m =10⁹, J_b =4, J_a =1
g: R=70, g=4, η =10⁻⁴, f_m =10¹⁰, J_b =4, J_a =1
h: R=70, g=4, η =10⁻⁴, f_m =10¹¹, J_b =4, J_a =1
h: R=70, g=4, η =10⁻⁴, f_m =10¹², J_b =4, J_a =1

يستمر







(f)

(h)



(i)



أنتهى

(4.5) الاستنتاجات

Conclusion

إن النتائج المستحصلة في هذا الفصل والمتضمنة التغيرات الزمانية لشدة ليزر النقاط الكمية الممتدة بتأثير تضمين تيار الحقن تقترح إمكانية استعمال هذا النوع من ليزرات أشباه الموصلات في أنظمة الاتصالات المحمية .

أبدى ليزر النقاط الكمية الممتدة عدد كبير من الحركيات نتيجة تضمين تيار الحقن عند مقارنة النتائج في هذا الفصل مع تلك الواردة في الفصل الثالث. حيث كان الليزر يعمل دون مؤثر خارجي Autonomous أما في حالة التضمين فأنه يعمل بوجود مؤثر خارجي Nonautonomous وفي هذه الحالة فأن نظام الليزر يوصف بثلاث معادلات أو له ثلاث درجات حرية بينما الأنموذج المعتمد في الفصل الثالث يتكون من معادلتين في الأساس أولاهما تصف التصرف الزمني للمجال الكهربائي أو لشدة الليزر بينما المعادلتين الثانية والثالثة يمكن أيجاز هما بمعادلة واحدة. لذلك كانت تصرفات شدة الخرج في الفصل الثالث مستقرة بينما في أيجاز هما بمعادلة واحدة. لذلك كانت تصرفات شدة الخرج في الفصل الثالث مستقرة بينما في أيضا الحالي فهي غير مستقرة حيث تراوح الخرج من الأعتيادي والأعتيادي الشاذ أفصل الحالي فهي غير مستقرة حيث تراوح الخرج من الأعتيادي والأعتيادي الشاذ أضف الى ذلك حدوث ظاهرة أختفاء الخرج الموات أو طاهرة أنهيار التشاكه

عليه فأن نظام ليزر النقاط الكمية الممتدة بوجود تضمين لتيار الحقن مرشح قوي للأستعمال في أجهزة الاتصالات كما وأن عدد النبضات في الخرج ثبت أمكانية الحصول عليها عن طريق الاختيار الأمثل لكل من تردد التضمين وسعة كل من الجزء الثابت والجزء المتغير من تيار الحقن .

في الفصل الخامس سندرس تأثير درجة الحرارة على شدة خرج ليزر النقاط الكمية الممتدة.

الفصل الخامس

Chapter five

در اسة تأثير الحرارة على خرج ليزر النقاط الكمية الممتدة

Study the effect of temperature on the output of quantum dash laser

Introduction

5.1 المقدمة

شهدت السنوات الأخيرة اهتماما متزايداً بليزر النقاط الكمية الممتدة QDash نظراً لما يتمتع بهِ هذا الليزر من مواصفات تم بيانها في الفصول الأول والثاني والثالث بنظراً للحاجة لهذا النوع من الليزرات المستقرة تقريباً مع درجة الحرارة في تطبيقات مثل الاتصالات [57,58] .

أن ليزرات النقاط الكمية الممتدة تبدي استقراريه جيدة بالمقارنة مع ليزرات الآبار الكمية عندما تكون النقاط الكمية الممتدة طويلة نسبياً وأكثر انتظاماً بينما لو كانت النقاط الكمية الممتدة قصيرة وغير منتظمة نسبياً فأنها أي ليزرات النقاط الكمية الممتدة تبدي اعتمادا كبيراً على درجة الحرارة [59].

Theoretical part

5.2 الجزء النظري

في دراسة عملية سابقة أوضح Marko والعاملين معه [60] وعلى نوعين من ليزرات النقاط الكمية الممتدة عند طولين موجيين مختلفين اعتماد كثافة تيار الحقن , J , على درجة الحرارة وكان الاعتماد شبه أسي . كما وَجدَ Lin والعاملين معه [61] عملياً أيضاً اعتماد معامل التحصيل على كثافة تيار الحقن في ليزر نقاط كمية ممتدة آخر , طردياً .

أن افتراض اعتماد كثافة تيار الحقن عند العتبة على درجة الحرارة يعتبر تبسيط لما يحصل في جهاز ليزر النقاط الكمية الممتدة أسوة لما يحصل في باقي أنواع ليزرات أشباه الموصلات وهذا سيؤدي بالتأكيد إلى التأثير على شدة خرج هذا الجهاز , إلا إن التفكير باعتماد تحصيل الجهاز على درجة الحرارة وارد فأنه سيصطدم بعائق مهم , هذا العائق يتمثل بضرورة معرفة فيزياء على درجة الحرارة وارد فأنه سيصطدم بعائق مهم , هذا العائق يتمثل بضرورة معرفة فيزياء الحرارة وارد فأنه سيصطدم بعائق مهم , هذا العائق يتمثل بضرورة معرفة فيزياء الحرارة الحرارة وارد فأنه سيصطدم بعائق مهم , هذا العائق يتمثل بضرورة معرفة فيزياء على درجة الحرارة وارد فأنه سيصطدم بعائق مهم , هذا العائق العائق يتمثل بضرورة معرفة فيزياء الحرارة الحرارة المعادلات الخاصة بليزرات النقطة الكمية وهي الأقرب إلى ليزرات النقاط الكمية الممتدة لأنها المعادلات الخاصة بليزرات النقطة الكمية وهي الأقرب إلى ليزرات النقاط الكمية الممتدة لأنها المعادلات الخاصة بليزرات النقطة الكمية وهي الأقرب إلى ليزرات النقاط الكمية الممتدة لأنها المعادلات الخاصة بليزرات النقطة الكمية وهي الأقرب إلى ليزرات النقاط الكمية الممتدة لأنها المعادلات الخاصة بليزرات النقطة الكمية وهي الأقرب إلى ليزرات النقاط الكمية ولي ولكوننا المعادلات الخاصة بليزرات النقطة الكمية وهي الأقرب إلى ليزرات النقاط الكمية الممتدة لأنها المعادلات الخاصة بليزرات النقطة الكمية وهي الأورب إلى ليزرات النقاط الكمية الممتدة لأنها المعادلات الخاصة بليزرات النقطة الكمية وهي الأورب إلى ليزرات النقاط الكمية الممتدة لأنها المعادلات الخاصة بليزرات النقطة الكمية وهي الأقرب إلى ليزرات النقاط الكمية ولكوننا المعادلات الخاصة بليزرات النقاط الحال المستعمل في الرسالة توفيرها [60] . لذلك ولكوننا نحتاج إلى أنموذج بسيط [63] يمكن أن يُستنبط من نتائج عملية قام بها آخرون فقد عمدنا إلى اعتماد نتائج المان منائية وراد أول إلى الحرارة حيث توصلنا من نتائجهم إلى العلاقة التي يمكن أن نسميها تجريبية Empirical من نتائجهم إلى العرامة الحرارة حيث توصلنا من نتائجهم إلى العلاقة التي يمكن أن نسميها تجريبية formula

$J_{th} = a_o - a_1 T + a_2 T$	2	(5.1)

حيث أن :

$$a_o = 10867.45966 \frac{A}{cm^2}$$

 $a_1 = 74.50128 \frac{A}{cm^2}$
 $a_2 = 0.13246 \frac{A}{cm^2}$

حيث يمثل الحد الأيسر من المعادلة (5.1) مقدار كثافة تيار الحقن عند العتبة والرمز, T, يمثل مقدار درجة الحرارة بوحدات الكلفن, علماً بأنهُ تم الأكتفاء بالحدود الثلاثة الأولى من المفكوك. لدراسة تأثير تيار الحقن , J, على حركيات الشدة في ليزر النقاط الكمية الممتدة سنعتمد مرة أخرى على أنموذج المعادلات (2.11 – 2.9) حيث ورد رمز تيار الحقن في المعادلة (2.11) حيث يتم كتابة كثافة تيار الحقن المعاير , J, على شكل[65] :

$$J = \frac{J' - J_{th}}{J_{th}}$$
 (5.2)

حيث أن 'I كثافة تيار الحقن الفعلي المسلط على وسط ليزر النقاط الكمية الممتدة و J_{th} كثافة تيار الحقن عند العتبة الذي يُحسب لكل درجة حرارة ,T, من العلاقة (5.1) ثم يتم تعويض كل قيمة لتيار الحقن المحسوب من العلاقة (5.2) في الأنموذج (2.11 – 2.9) .

5.3 نتائج المحاكاة

Simulation results

والمناقشة

and discussion

لغرض أستخراج نتائج تأثير درجة الحرارة على أداء ليزر النقاط الكمية الممتدة قمنا بحل أنموذج المعادلات (2.11 – 2.9) مستفيدين من العلاقتين (5.1) و (5.2) ومستعينين بطريقة Runge – Kutta العددية ونظام Matlab وأختيار شروط أبتدائية مناسبة .

الشكل (5.1) يمثل إعتماد كثافة تيار الحقن عند العتبة J_{th}, على درجة الحرارة والمحسوب من المعادلة (5.1) .

رُسمت تغيرات شدة خرج ليزر النقاط الكمية الممتدة ,I, مع الزمن لمدى درجات الحرارة لفعلي التحصيل g=2-4 والنسبة $\eta=10^{-3}-10^{-2}$ وتيار الحقن الفعلي (250-400) K هذه الهروب R=50 . R=50 معدل الهروب J' = 2000 $\frac{A}{cm^2}$, 2500 $\frac{A}{cm^2}$, 3000 $\frac{A}{cm^2}$ النتائج قمنا برسم العلاقة (5.1) والنتيجة مبينة في الشكل (5.1) حيث يتضح وجود قيمة دُنيا لتيار العتبة , J_{th} , وهذه النتيجة تتفق تماماً مع ما حصل عليه Hepburn والعاملين معه [66] حيث تم رسم علاقة تيار العتبة , J_{th} , بدرجات الحرارة بوحدات الكلفن . أن العلاقة في الشكل (5.1) تبدي إعتماداً لتيار العتبة كقطع مكافئ ذا بطن تمتد بين (300-260) وقد فسر Hepburn والعاملين معه [66] هذا التصرف كالتالي : أن هذا التصرف يعزى الى التباين بين الاعتماد على درجة الحرارة لكل من ذروة تحصيل وسط الليزر والرنين في التجويف Cavity resonance . هذا يؤدي الى إزاحة ذروة تحصيل وسط الليزر بالأتجاه الأحمر Red shift بمعدل أكبر من ذلك لنمط تجويف فابرى بيروت Fabry – Perot mode كلما زادت درجة الحرارة فدون أدنى درجة حرارة يكون عندها تيار العتبة تتحرك ذروة التحصيل بأتجاه نمط تجويف فابرى بيروت , بينما أعلى من أدنى درجة حرارة فأن ذروة التحصيل تتحرك بعيداً عن نمط تجويف فابري بيروت . الجدولين (5.1) و (5.2) يبينان أثر درجة الحرارة على قيمة شدة خرج الليزر ,I, وطول فترة الحوادث اللحظية أو زمن وصول الجزء الثابت من شدة خرج ليزر النقاط الكمية الممتدة , لقيم الثوابت المبينة في الجدول .



شكل (5.1) : أعتماد تيار الحقن عند العتبة , J_{th} , على درجة حرارة ليزر

النقاط الكمية الممتدة, T.

a :
$$(\eta = 10^{-2}, J' = 2000 \frac{A}{cm^2}, R = 50)$$
, b : $(\eta = 10^{-2}, J' = 2500 \frac{A}{cm^2}, R = 50)$,
c : $(\eta = 10^{-2}, J' = 3000 \frac{A}{cm^2}, R = 50)$

(а)
(а)

	I,t					
Т	g					
	2	3	4			
250	zero	1.2,550	2,320			
275	1,550	2.5,275	4,180			
290	1,550	2.5,275	4,180			
300	0.5,620	2,300	4,180			
325	zero	zero	zero			

	I,t					
	g					
-						
I	2	3	4			
250	0.9,600	2.5,275	3.8,180			
275	2,350	5,180	6,120			
290	2,350	5,180	6,120			
300	1.8,420	4,200	5,180			
325	Zero	1.8,400	2,280			

(b)

(c)

	I ,t			
	G			
-				
	2	3	4	
250	1.8,420	4,100	5,150	
275	4,280	6,130	9,90	
290	4,280	6,130	8,100	
300	3,300	5,150	8,100	
325	0.5,550	2,300	4,180	

جدول (5.2) : أعتماد كل من شدة الجزء الثابت من الخرج ,I, وطول منطقة الحوادث اللحظية ,t, على كل من درجة الحرارة ,T, و التحصيل , g , ونسبة هروب الحاملات , R , وتيار الحقن الكلي ,'J , وكالاتي: :

a :
$$(\eta = 10^{-3}, J' = 2000 \frac{A}{cm^2}, R = 50),$$
 b : $(\eta = 10^{-3}, J' = 2500 \frac{A}{cm^2}, R = 50),$
c : $(\eta = 10^{-3}, J' = 3000 \frac{A}{cm^2}, R = 50)$

(b)

1		۱.
1	2	1
1	а	
•		

		I ,t					I ,t	
т		g			т		g	
	2	3	4			2	3	4
250	Zero	1,900	4,>1000		250	1.5,1000	2,550	2,>1000
275	2,400	1.5,300	4,>1000		275	2,420	4,200	2,>1000
290	1,1000	1.4,420	4,>1000		290	2,420	4,200	2,>1000
300	0.3,21000	1.0,480	4,>1000	1	300	2,420	3,220	1,>1000
325	Zero	Zero	4,>1000	1	325	Zero	1,600	1,>1000

(c)

	I ,t					
т	g					
	2	3	4			
250	2,500	5,850	10,100			
275	3.5,330	6,140	15,80			
290	4,330	10,100	15,80			
300	2,400	8,100	10,100			
325	0.4,>1000 2,700 5,250					

والأشكال (5.2) و (5.3) و (5.4) نماذج مختارة من النتائج المستحصلة لتغير شدة خرج الليزر مع الزمن .

من خلال فحص كافة النتائج المستحصلة هنالك مدى من درجات الحرارة أو بالأحرى مدى من كثافة تيار الحقن عند العتبة تعمل فيها الليزر عند أو أعلى من العتبة أي عتبة أشتغال جهاز الليزر فكما لاحظنا من الشكل (5.1) فدون درجة حرارة K 250 تقريباً أو أكثر من X 325 وربغض النظر عن قيمة التحصيل (g) فأن مقدار الخرج يتضاءل بشكل سريع وأحياناً عند الأبتعاد كثيرا عن درجة حرارة K 250 والنزول أقل بكثير من K 250 فأن الخرج لا يكتفي فقط بأن يكون ضئيلاً جداً بل تظهر تراوحات في الشدة فيها نوع من عدم الأستقرارية كما لاحظ ذلك من الشكل (5.1) والنزول أقل بكثير من K 250 فأن الخرج لا يكتفي وبغض النظر عن تيمة التحصيل (g) فأن مقدار الخرج يتضاءل بشكل سريع وأحياناً عند الأبتعاد كثيرا عن درجة حرارة K 250 والنزول أقل بكثير من K 250 فأن الخرج لا يكتفي يقط بأن يكون ضئيلاً جداً بل تظهر تراوحات في الشدة فيها نوع من عدم الأستقرارية كما يلاحظ ذلك من الشكل (5.2 h,g) .

الجدولين (5.1) و (5.2) يلخصان أثر كل من مقدار التحصيل (g) والنسبة بين معدلي أضمحلال الحاملات الى الفوتونات (η) وتيار الحقن الفعلي ولقيمة مُختارة من معدل هروب الحاملات (R) على شدة خرج الليزر في الجزء الثابت وزمن تأخر ولادة خرج الليزر في الجزء الثابت منهُ فكلما تغيرت درجة الحرارة من K (325 – 250) فأن الخرج بشكل عام وبالاعتماد على قيمة التحصيل (g) يبدأ أما صفراً أو قيمة واطئة ويزداد ليصل الى قيمة عُظمى ليتضاءل بعدها بأتفاق مع النتيجة المستحصلة في الشكل (5.1) بالاعتماد على المعادلتين (5.1) و (5.2) . أن مدى وجود الخرج يزداد مع زيادة التحصيل لنفس المدى من درجات الحرارة .

ان زيادة التحصيل تؤدي الى زيادة سعة التذبذب في منطقة الحوادث اللحظية وزيادة الجزء الثابت من الشدة ويتراجع طول الحوادث اللحظية مع زيادة التحصيل ويتناقص عرض التراوحات في منطقة الحوادث اللحظية . جميعها يتأثر بنقصان درجة الحرارة أو زيادتها نسبة الى أوطأ حرارة يكون عندها مقدار تيار العتبة عند قيمته الدنيا .

عند خفض η من ²–10 الى ³–10 يكون الخرج بحالة أفضل , أي تزداد الشدة في الجزئين الثابت والحوادث اللحظية ويتراجع طول منطقة الحوادث اللحظية وتضيق التراوحات في منطقة الحوادث اللحظية أيضاً . وكما متوقع فأن زيادة تيار الحقن ,J, يؤدي الى ذات التأثيرات سابقة الذكر .

زيادة أو نقصان درجة الحرارة بعيداً عن أوطأ قيمة لتيار العتبة تؤدي الى زيادة تيار العتبة ونقصان في تيار الحقن المُعاير ,J, كما يتضح ذلك من العلاقة (5.2) حيث يتناقص البسط. ويزداد المقام هذا من الناحية الرياضية أما من الناحية الفيزياوية فذلك يعني بزيادة أو نقصان درجة الحرارة فأن التيار اللازم توفيره لتحقيق قلب التعداد يصبح أكبر وهذا مما يقلل من كفاءة جهاز الليزر أو أن ترفع قيمة التيار ('J) لتعويض النقصان وهذا يؤدي بدوره الى زيادة حرارة الجهاز وتعرضه للتلف .



شكل (5.2) أعتماد كل من شدة الجزء الثابت من الخرج ,I,وطول منطقة الحوادث اللحظية ,t, أعتماداً على التحصيل ,g, ونسبة هروب الحاملات ,R, وتيار الحقن الكلي,'J,

η=10⁻², J'=2000
$$\frac{A}{cm^2}$$
, g=2, R=50 :عند
عند :
(a) :T=250, (b):T=275 , (c) :T=290, (d) :T=300, (e) :T=325
يستمر



يستمر



أنتهى



(a)

شكل(5.3) أعتماد كل من شدة الجزء الثابت من الخرج ,I,وطول منطقة الحوادث اللحظية ,t, أعتماداً على التحصيل ,g, ونسبة هروب الحاملات ,R, وتيار الحقن الكلي,'L,

وكالاتي :

a:
$$\eta = 10^{-2}$$
, J'=2000 $\frac{A}{cm^2}$, g=2, R=50, T=250, T=275
b: $\eta = 10^{-2}$, J'=2500 $\frac{A}{cm^2}$, g=2, R=50, T=250, T=275
c: $\eta = 10^{-2}$, J'=3000 $\frac{A}{cm^2}$, g=2, R=50, T=250, T=275
d: $\eta = 10^{-3}$, J'=2000 $\frac{A}{cm^2}$, g=2, R=50, T=250, T=275
e: $\eta = 10^{-3}$, J'=2500 $\frac{A}{cm^2}$, g=2, R=50, T=250, T=275
f: $\eta = 10^{-3}$, J'=3000 $\frac{A}{cm^2}$, g=2, R=50, T=250, T=275

يستمر



يستمر



شكل(5.4) أعتماد كل من شدة الجزء الثابت من الخرج ,I,وطول منطقة الحوادث اللحظية ,t, أعتماداً على التحصيل ,g, ونسبة هروب الحاملات ,R, وتيار الحقن الكلي,'J,

وكالاتي:

a :
$$\eta = 10^{-3}$$
, J'=3000 $\frac{A}{cm^2}$, g=2, R=50 , T=290 , T=300
b: $\eta = 10^{-3}$, J'=3000 $\frac{A}{cm^2}$, g=3, R=50, T=290, T=300
c : $\eta = 10^{-3}$, J'=3000 $\frac{A}{cm^2}$, g=4, R=50, T=290, T=300



انتهى

conclusions

أدت عملية أضافة حد لأعتماد شدة خرج الليزر على درجة الحرارة الى تأثيرات واضحة على خرج ليزر النقاط الكمية الممتدة. تم ذلك من خلال كتابة علاقة لأعتماد كثافة تيار العتبة على درجة الحرارة مما يؤدي بزيادة أو نقصان درجة الحرارة عند مدى معين K (200 – 260) من درجة الحرارة الى من درجات الحرارة الى نقصان شدة الخرج الى حد أختفاء الخرج تماماً أحياناً وتحوله الى ضوضاءً أحياناً أخرى , هذه العملية أدت الى تحديد المدى الحر الذي تعمل به الليزر الذي يمتد بين K (325≫T≥250) .

الفصل السادس

Chapter six

الأستنتاجات والعمل المستقبلي

Conclusion and future work

6.1 الأستنتاجات

أفضت الدراسة الحالية لحركيات ليزرات أشباه الموصلات نوع النقاط الكمية الممتدة الى التالي :

1- عند عمل الليزر بدون مؤثر خارجي حيث يمتلك النظام درجتين من درجات الحرية كانت الحركيات مستقرة عبارة عن منطقة حوادث لحظية يتبعها الجزء الثابت من الخرج بعد أن تم ضخ الليزر بتيار حقن مستمر . تأثرت منطقة الحوادث اللحظية والجزء الثابت بعوامل السيطرة الواردة في الأنموذج الرياضي المعتمد في الدراسة وهي كل من نسبة أضمحلال حاملات الشحنة من الي الفوتونات وتيار الحقن ومعامل التحصيل التفاضلي ومعدل هروب حاملات الشحنة من النقاط الكمية الموادث الكمية الموادث المعتمد من عمر معامل السيطرة على من نسبة أضمحلال حاملات الشحنة من عمر منطقة الواردة في الأنموذج الرياضي المعتمد في الدراسة وهي كل من نسبة أضمحلال حاملات الشحنة الي الفوتونات وتيار الحقن ومعامل التحصيل التفاضلي ومعدل هروب حاملات الشحنة من النقاط الكمية الممتدة الى منطقة الترطيب . أثر العامل الأخير كثيراً على طول وطبيعة التذبذب في منطقة الحوادث اللحظية مقارنة مع نتائج Erneux والعاملين معه [47].

2- أدت عملية تضمين تيار الحقن عن طريق كتابة الأخير كجزئيين أحدهما ثابت والأخر متغير مع الزمن بتردد تضمين أمتد بين 10⁶ الى 10¹² هيرتز الى ولادة أنواع مختلفة من الخرج خصوصاً الفوضوي كما ولدت نبضات محدودة العدد وقصيرة العمر علماً بأن الليزر في هذه الحالة تمتلك ثلاث درجات من الحرية تؤهلها الى إظهار هذا النوع من الحركيات .

3- أخيراً أدت عملية إعتماد تيار الحقن عند العتبة الى تحديد شديد في عمل الليزر من حيث أنتاج الخرج وهنالك مدى من درجات الحرارة محصور بين 250K و 325K يمكن أن تعمل به الليزر أعلى أو أوطأ من هذا المدى فأن الليزر تتوقف عن العمل وقد يظهر تراوحات شديدة في الشدة بعد زمن معين واطئ لكنه فوضوي .

6.2 العمل المستقبلي

ما تزال ليزرات النقاط الكمية الممتدة بحاجة الى سبر أغوار ها كثيراً من الناحيتين النظرية والعملية :

دراسة أثر التغذية العكسية

2- دراسة الأثر المركب لكل من تضمين تيار الحقن والتغذية العكسية لما تتعرض لهُ الليزر أثناء استعمالها في الاتصالات.

3- دراسة التوزيع المستعرض لأنماط هذا الجهاز عندما يعمل بدون مؤثر خارجي وبوجود مؤثرات مثل التغذية العكسية والتضمين .

4- دراسة أثر الضوضاء على حركيات الليزر

5- إخضاع ليزرين أو أكثر من ليزرات النقاط الكمية الممتدة لعملية التزامن وجهاً لوجه ودراسة تأثر شدة الخرج وأحتمالية الأشغال في النقاط الكمية وكثافة الحاملات بهذه العملية المعالية المعالي معالية المعالية ال معالية المعالية المعالية

المصادر

References

References

- 1 M.I.Nathan, W. P. Dumke, and G.Burns, Stimulated emission of radiation from GaAs p-n junctions, Appl.Phys. Lett., 1, 62-64 (1962).
- 2 R. N. Hall, G. E. Fenner, J. D. Kingsley, T. J.Soltys, and R. O. Carlson, Coherent light emission from GaAs junctions, Phys. Rev. Lett., 9, 366 368 (1962).
- 3 T. M. Quist, R.H. Rediker, R. J. Keyes, W. E. Krag, B. Lax, A. L. McWhorter, and H. J. Zeigler, Semiconductor maser of GaAs, 1, 91–92 (1962).
- 4 N. Holonyak and F. Bevacqua, Coherent (visible) light emission from Ga $(A_{s1-x} P_x)$ junction, 1, 82 83 (1962).
- 5 M. B. Panish, I. Hayashi, and S. Sumski, Double –Heterostructure injecti- on lasers with room temperature thresholds and low as 2300 $A.cm^{-2}$, Appl. Phys. Lett., 16, 326 327 (1970).
- 6 I. Hayashi, M. B. Panish, P. W. Foy, and S. Sunski, Junction lasers which operate continuously at room temperature, Appl. Phys. Lett., 17, 109-111 (1970).
- 7 A. Salhi, A. A. Al Muhanna, Self consistent analysis of quantum well number effects on the performance of 2.3μm GaSb based quantum well laser diodes, IEEE J. Sel. Top. J. Quant. Electron., 15, 918 924 (2009).
- 8 S. Aria and T. Maruyama, GaInAsP/InP quantum wire lasers, IEEE J. Quant. Electron, 15, 731 742 (2009).

9 – Y. Arakawa and H. Sakaki, Multidimensional quantum well laser and temperature dependence of its threshold current, Appl. Lett., 40, 939 - 941 (1982).

- 10 R. H. Wang, A. Stintz, P. M. Varangis, T. C. Newell, H. Li, K. J. Malloy, and L. F. Lester, Room – temperature operation of InAs quantum – dash lasers on InP (001), IEEE Photon. Techn. Lett., 13, 767-769 (2001).
- 11 S. C. Heck, Experimental study of quantum dot and dash lasers, PhD thesis, University College Cork, National University of Ireland cork, Ireland (2009).

12 – A. A.Ukhanov, R. H. Wang, T. J Rotter, A. Sintz, L.F. Lester, P. G.Eliseev and K. J.Malloy, Orientation dependence of the optical properties in InAs quantum – dash lasers on InP, Appl. Phys. Lett., 81, 981–983 (2002).

13 – A. Moscho, Injection locking characteristics of Indium Arsenide quantum dash lasers, MSc thesis, the University of New Mexico, Albuquerque, New Mexico, USA (2007).

14 – M. Pochet, N. A. Naderi, F. Grillot, V. Kovanis, and L. F. Lester, Modulation response of an injection locked quantum - dash Fabry – Perot laser at (1550 nm),

Physics and simulation of optoelectronic devices xvii, edts : M. Osinski, B. Wizigmann, F, Henneberger, Y. Arakawa, Proc. SPIE, ,7211, 721107 – 1 (2009).

15 - M. Pochet, N.A. Naderi, V. Kovanis, and L. F. Lester, Dynamic behavior of an injection locked quantum - dash Fabry – Perot laser at Zero – detuning, Opt. Exp., 17, 20623 – 20630 (2009).

16- C. Chen. G. Ding. B. S. Ooi, L. F.Lester, A Helmy, T.L. Koch, and J.C.M. Hwang, Optical injection modulation of quantum – dash semiconductor laser by intra – cavity stimulated Raman scattering ,Opt . Exp., 18, 6211 - 6219 (2010).

17 - R. Maldonado - Basilio , J. Parra - Cetina , S. Latkowski , N. Calabretta , and P.Landais , Experimental investigation of the optical injection locking dynamics in single - section quantum - dash Fabry - Perot laser diode for packet - based clock recover applications , J. Light . Techn . , 31 , 860 - 865 (2013) .

18 - F. Van Dijk, A. Enard, x. Buet, F. Lelarge, and G. - H Duan, Millemeter – wave opto - electronic oscillator based on a quantum dash mode – locked laser. Quantum Dot optoelectronic symposium, 14 - 16 Nov. University of Cyprus (2007).

19 - G. Girault , M. Gay , S. Lobo , L. Bramerie , M. Joindot , J. C. Simon , A. Shen , F. Blache , H. Gariah , F. Mallecot, O. Le Gouezigou, F.Poingt , L. Le Gouezigou, F. Pommereau, B. Rousseau , F. Lelarge, and G. – H. Duan , Quantum dash actively mode – locked Fabry-Perot laser module demonstrated as part of a wavelength tunable RZ transmit-ter, Elec. Lett . , 44, 873 – 882 (2008).

88

20 - C - Y. Lin , Y. – C . Xin , N. A . Naderi , F. L. Chiragh and L. F. Lester , Monolithic 1.58 micron InAs / InP quantum dash passively mode – locked lasers, Physics and Simulation of Optoelectronic Devices XVII , edts : M . Osinski, B . Witzigmann, F. Henneberger, Y . Arakawa, Proc . SPIE , 7211 , 721118 – 1 (2009).

21 – Y. Ben M'Sallem, Q. T. Le, L. Bramerie, Q. – T. Nguyen, E. Borgne, P. Besnard, S. LaRochelle, L – A. Rusch, and J. – C. Simon, Quantum - dash mode - locked laser source for wavelength - tunable 56 Gbit.s⁻¹ D Q P S K, Anual manuscript. 36th European Conf. and Exhib. Opt. Commun. (ECOC) Turin, Italy (2010).

22-J. Parra – Cetina, S. Latkowski, R. Maldonado – Basilio and P.Landais, Wavelength tenability of all – optical clock – recovery based on quantum – dash mode –locked laser diod under injection of a 40- *Gbit.sec⁻¹* NRZ data stream, IEE photon .Ten. Lett. ,23, 531 – 533 (2011).

23 – R. Rosales, S. G. Murdoch, R. T. Watts, K. Mergham, A. Martinez, F. Lelarge, A. Accard, L. P. Barry and A. Ramadane, High performance mode

locking characteristics of single section quantum dash laser , Opt . Exp . 20 , 8649 - 8657 (2012) .

24 – J. Parra – Cetina, J. Luo, N. Calabretta, S. Latkowski, H. J. S. Dorren, and P. Landais, Subharmonic all –optical clock recovery of up to 320 Gb. s^{-1} signal using a quantum dash Fabry – Perot mode – locked laser, J. Light Wave Techn., 31, 3127 – 3134 (2013).

25 – T.Sano, Antimode dynamics and chaotic itinerancy in the coherence callapse of semiconductor lasers with optical feedback Phys. Rev. A, 50, 2719 – 2726 (1994).

26 – S. Azouigui, B. Dagens, F. Lelarge, J. G. Provost, A. Accard, F. Grillot,
A. Martines, Q. Zou, and A. Ramadane, Tolerance to optical feedback of 10 – *Gbt.s⁻¹* quantum – dash – based lasers emitting at 1.51μm, IEEE photon. Techno. Lett., 19, 1181 – 1183 (2007).

27 – F.Grillot, N. A. Naderi, M Pochet, C. – Y. Lin, and L. F. Lester, Variation of the feedback sensitivity in a 1.55μm InAs/InP quantum – dash Fabery – Perot semiconductor laser, Appl. Phys. Lett., 39, 191108 – 1 (2008).

28 – F. Grillot, N. A. Naderi, M. Prochet, C. – Y Lin, P. Besnard, and L. F. Lester, Tuning of the feedback level in 1.55 - μm quantum – dash semiconductor laser diodes, IET Optoelectronics, 3, 242 – 247 (2009).

29 – J. W Wu, B. Nakarmi, T. Q. Hoai, and Y. H Won, Tunable two – color lasing emission based on Fabry-Perot laser diode combined with external cavity feedback, IEEE photonics J, 5, 1500108 – 1 (2013).

30 – A. J. Zilkie, J. Meier, M. Mojahedi, P. J. Pool, P. Barrios, D. Poitras, T. J. Rotter, C. Yang, A. Stintz. K. J. Malloy, P.W.E. Smith, J. S. Aitchison, Carrier dynamics of quantum – dot, quantum – dash and quantum - well semiconductor optical amplifiers operating at 1.55 μm, IEEE J. Quant. Electron . ,43,982 – 989 (2007).

31 – A. Musial, G. Sek, P. Podemski, M. Syperek, J. Misie wick, A. Loffler,
S. Hofling and A. Forchel, Excitonic complexes in InGa As / GaAs quantum dash structures, J. Phys:Conference Series, 245, 012054 – 1 (2010).

32 – M. Z. M. Khan, T. K. Ng, V. Schwingenschlogl, P. Bhat- tacharya, and B. S. Ooi, Modeling the lasing spectra of InAs/InP quantum –dash lasers, Appl. Phys. Lett., 98, 101105 – 1 (2011).

33 – R. Schwertberger, D. Gold, J. R. Reithmaier, and A. Forschel, Long – Wavelength InP-based quantum – dash lasers, IEEE Photon. Techn. Lett., 14, 735 – 737 (2002).

34 – Y. Qiu, D. Uhl, R. Chacon, and R. Q. Yang, Lasing characteristics of InAs quantum – dot lasers on (001) InP substrate ,Appl. Phys. Lett., 83, 1704 – 1706 (2003).

35 – H. Dery, E. Benisty, A. Epstein, R. Alizon, V. Mikhel ashvili, and G. Eisenstein, R.Schwertberger, O. Gold, J.Reithmaier, and A. Fo-rchel, On the nature of quantum dash structures, J. Appl, Phys., 95, 6103 – 6111 (2004).

36 – S. Barik , H. H. Tan , and C. Jagadish, Role of thin GaAs interlayer on InAs quantum dots grown on InGaAsP/ InP(100) by metalorganic che- mical vapor deposition , Commad 04 , IEEE ,331 – 334 (2005) .

37 – A. Somer , W. Kaiser , J. P. Reithmaier, and A.Forchel , M. Gioan- inni , and I. Montrosset , Optical gain properties of InAs/InAlGaAs / InP quantum dash structures with a spectral gain bandwidth of more than 300 nm , Appl.Phys . Lett ., 89,061107 - 1 (2006) .

38 – F. Lelarge, B.Dagens, J. Renaudier, R. Brenot, A. Accard, F.Van Dijk, D. Make, O. Le Gouezigou, J.- Guy provost, F. Poingt, J.Landreau, O. Drisse, E.Derouin, B. Rousseau, F.Pommereau, and G.-Hua Duan, Recent advances on InAs/InP quantum – dash based semiconductor lasers and optical amplifiers operating at 1.55 μm, IEEE J.Select .Top.Quan. Electron., 13,111-123 (2007).

39 – S. Azouigui, B. Kelleher, S. P. Hegarty, G. Huyet, B. Dagens, F. Lelarge, A. Accard, D. Make, O. Le Gouezigou, K. Merghem, A. Mart - inez, Q. Zou and R. Ramadane, Coherence collapse and low- frequency flucations in quantum – dash based lasers emitting at 1.57 μm Optical Society of America, 1 – 8 (2007).

40 – G. Girault , M. Gay, S. Lobo , L. Bramerie, M.Joindot, J. C.Simon, A.Shen , F. Blache , H. Gariah , F. Mallecot, O. Le Gouezigou, F. Poingt, L.Le Gouezigou , F. Pommereau , B.Rousseau , F.Lelarge , and G.- Duan , Quantum dash actively mode locked Fabry –Perot laser module demonst- rates as part of wavelength tunable RZ transmitter, Electron. Lett., 44,1 – 2 (2008) .

41 – B. Ooi, H. Suanto Djie, Y. Wang, C. - Loon Tan, J. C. M. Hwang, X. - Ming Fang, J. M. Fastenau, A. W. K. Liu, G. T. Dang, W. H. Cha- ng, Quantum dash on InP substrate for broadband emitter applications, IEEE Select. Top. Quantum .Electron., 14, 1230 – 1238 (2008).

42 – N. A. Naderi, M. Pochet, F. Grillot, N. B. Terry, V.Kovanis, and L. F. Lester,
Modeling the injection – locked behavior of quantum – dash semiconductor laser,
IEEE. J.Selec.Top.Quantum. Electron., 15,563 – 571 (2009).

43 – Z. M. Khan, T. K. Ng, Schwingenschlogl and B. S. Ooi, Theoretical observation of two state lasing from InAs / InP quantum – dash lasers, NUSOD,IEEE ,149 - 150 (2011).

44 – Z. M. Khan, T. K. Ng, B. S. Ooi, Characteristics of quantum - dash laser under the rate equation model framework, NUSOD, 65 – 66, IEEE (2010).

45 – D. O'Brien, S. P. Hegarty, G. Huyet and A. V. Uskov, Sensitivity of quantum – dot semiconductor lasers to optical feedback, Opt. Lett., 29, 1072 - 1074 (2004). 46 - T. Erneux , E. A.Viktorov, and P. Mandel , Time scales and relaxa- tion dynamics in quantum – dot lasers , Phys, Rev.A, 023819–1 (2007) .

47 – T. Erneux , E. A. Viktorov, P. Mandel , S. Azouigui , and A. Ramadane, Relaxation characteristics of quantum – dash – based semiconductor lasers , Appl. Phys. Lett. ,95, 231107–1 (2009) .

48 – F. T. Arecchi, Instabilities and chaos in lasers : Introduction to hyperchaos, (20-50), 99th course of E. Fermi school, Synergetics and dyn- amics instability, 1988 IC Corso, Bolobn, Italy.

49 – J. Sacher, D. Baums, P. Panknin, W. Elsasser, and E. O. Gobel, Intensity instabilities of semiconductor laser under current modulation, external light injection, and delayed feedback, Phys. Rev. A- 45, 1893-1905 (1992).

50 – P. N. Melentiev, M. V. Subbotin, and V. I. Balykin, Simple and effective modulation of diode laser, Laser Physics, 11, 891-896 (2001).

51 – A.Valle, L. Pesquera, S. I. Turovets, and J. M. Lopez, Nonlinear dynamics of current - modulated vertical - cavity surface-emitting lasers, Opt. Commun, 208, 173 – 182 (2002).

52 – S. Rajesh, Nonlinear dynamics of semiconductor lasers : Control and Synchronization of chaos PhD thesis, Cochina University of Science and Te- chnology, India (2005).

53 – P. V. Jijo, Nonlinear dynamics of multiple quantum well lasers : Chaos and multistibility, PhD thesis, Cochin University of Science and Te- chnology, India (2008).

54 – H. Saito, K. Nishi, A. Kamei, and S. Sugou, Low chirp observed in directly modulated quantum dot lasers, IEEE Photo. Techno. Lett., 12, 1298 – 1300 (2000).

55 – M. O. Oleiwi and C. A. Emshary, Direct current modulation effects on the photon density in InAs/InGaAs quantum dot semiconductor laser, J. Bas. Res. (Sci.), 39, 100-119 (2013).

56 – C. A. Emshary, H. A. Sultan, and Ra'ed. M. Hassan, Nonlinear dynamics in the output of VCSEL under the modulation of injection current, Acc. J. Babylon University (2011).

57 – M. C. e Silva , A.Lagrost , L. Bramerie , M. Gay , P. Besnard , M. Joindot , J. -C. Simon , A. Shen , and G.- H. Duan , Up to 427 GHz all optical frequency down – conversion clock recovery based on quantum – dash Fabry – Perot mode locked laser,

J. Light Wave Tech ., 29,609 – 615 (2011).

58 – M. Z. M, Khan ,T. K. Ng , C.-S. Lee , D. H. Anjum , D. Cha , P. Bhattacharya , and B.S.Ooi , Distinct lasing operation from chirped InAs/InP quantum – dash laser , IEEE Photon . J.,5,1501308 – 1 (2013) .
59 – C. Chen, Y. Wang, H. Djie, B. S. Ooi, L. F. Lester, T. L. Koch, and J. C. M. Hwang, Intrinsic dynamics of quantum – dash lasers, IEEE J. Selec. Top. Quantum. Electron., 17,1167 – 1174 (2011).

60 – I. P. Marko, S. J. Sweeney, A. R. Adams, S. R. Jin, B. N. Murdin, R. Schwertberger, A.Somers, J.P.Reithmaier, and A.Forchel, Recombination mechanisms in InAs/InP quantum dash lasers studied using high hydrostatic pressure, Phys. Stat. Sol., 241,3427 – 3435 (2004).

61 – C.- Y. Lin , Y.- C. Xin , Y. Li , F. L. Chiragh and L. F. Lester , Cavity design and characteristics of monolithic long – wavelength InAs/InP quantum dash passively mode – locked lasers , Opt. Exp., 17, 19739 – 19748 (2009) .

62 – L.V. Asryan and R. A. Suris, Theory of threshold characteristics of quantum dot lasers : Effect of quantum dot parameter dispersion, Int-J.High Speed Electronics and Systems, 12,111 – 176 (2012).

63 – P.V. Mena, J. J. Morikuni, S. M. Kang, A. V. Harton, and K. W. Wyatt,
A simple rate – equation based thermal VCSEL model ,J. Light Wave Tech., 17, 865 – 872 (1999).

64 - D. Zhou , B. O. Fimland , R. Piron , O. Dehaese , F. Grillot and S. Loualiche , Low threshold current density InAs quantum dash lasers on InP using double cap technique , CS Mantech conference , May $18^{th} - 21^{st}$, Tampa , Florida , USA , (2009).

65 –J. M. Pol , Semiconductor laser dynamics : compound –cavity , polarization and transverse modes , PhD thesis ,University of Les illes Balears,Spain (2002) .

66-C. J. Hepburn , R. Sceats , D. Ramoo , A. B.- Thoms , N. Balkan , M. J. Adams , A. J. Dann , S. D. Perrin , I. Reid , J. Reed , P. Cannard , M. A. Fisher , D. J. Elton , and M.J.Harlow , Temperature dependent operation of 1.5 μm GaInAsP/InP VCSELs, Super lattices and Microstructure's , 32 , 103-116 (2002) .

<u>Abstract</u>

Quantum dash semiconductor lasers were born after an attempt by the researchers to expand the wavelength range of the quantum dot lasers. It possesses properties and characteristics outmatch those of the quantum dot lasers .

The present work represents a study of the output intensity, occupation probability of the quantum dot and carriers density in the wetting layer where the laser works autonomously.

The study is extended by adding the effect of injection current modulation which increases the degrees of freedom to three . The current modulation led to chaotic output which is basic for the application in the secure communication. The effect of temperature on the intensity dynamics is studied too via the dependence of injection current at threshold on temp- erature.

The previous studies were conducted based on a theoretical model consisted of three equations describing the temporal variation of laser intensity, occupation probability and carrier density which was solved using the fourth order Runge-Kutta numerical method and Matlab system.

The three quantities (intensity ,probability and carriers density) affected by the differential gain, ratio of relaxation rates of carriers and photons, injection current density, rate of carrier escape and temperature where the laser works autonomously. The laser performance affected by the modulation of injection current via the constant and variable parts of the injection current and the modulation frequency

Study of the dynamical behavior of the quantum dash semiconductor laser

A thesis submitted

by

To the council of the College of Education for Pure Sciences-University of Basrah in partial fulfillment of the requirement for the degree of Master of Sciences in Physics

Mohammed Salim Jasim Al-taie

BSc, *Physics*

Supervised

by

Prof.Dr.C.A.Emshary

2014