University of Mosul

College of Education

for Pure Science

Study and Analysis of The Optical and Spectral Properties of Arsenic-doped InP/GaAs Quantum Dot Semiconductor Lasers

Rafal Zuhair Bahnam

M. Sc. Thesis

Physics

Supervised by

Assist. Prof.

Dr. Ivan Bahnam Karomi

2022 (A.D.) **1444 (A.H.)**

Abstract

The aim of this Thesis is to study and investigate the role of 20 % As doping to InP quantum dot (QD) laser. For that reason, two QD materials as a laser active region were prepared namely, InP and $InAs_{0.2}P_{0.8}$ QDs. Both of them were grown at the same conditions by standard Metal Organic Vapor Phase Epitaxy (MOVPE) technique on the compatible structure. To study the laser performance 1mm cavity length lasers were prepared for both samples. Moreover, multi-section devices were prepared to measure the modal absorption spectra of the samples using segmented contact method. The simulation part in this study involves applying of the Gaussian distribution on the modal absorption to calculate the optical absorption cross section and the inhomogeneous broadening. Additionally, applying Lorentzian distribution on the laser emission spectra to study the linewidth broadening and carrier's lifetime.

The laser results shown that both samples displayed adequate performance over the wide range of temperatures (-100 to 100 C^o). The optical power – current (P-I) curves conformed lasing operation of both samples up to 100 C^o. However, the As doped sample presented larger threshold current, for examples, at 20 C^o the threshold current is approximately 187.8 mA for InP and 247.2 mA for InAsP. Moreover, the results of current –voltage (I-V) curves pointed out high electrical connections over the measured temperatures range for both samples. Additionally, the emission spectrum was shifted from around 716 nm to around 760 nm when As was added to InP.

On the other hand, the simulation results showed, adding As to InP QD material decreases the optical absorption cross section for the ground states (GS) by 0.836 $x10^{-14}$ cm^2.eV whereas, the excited state (ES) showed almost same value. Moreover, the inhomogeneous broadening for InAsP sample was doubled and became less well defined. Furthermore, the linewidth broadening of the lasing state increase by 1.1 meV and the e carrier lifetime reduces from 0.866 Ps to 0.222 Ps when As was doped.

These results could make InAsP QD laser an attractive device in photo dynamic therapy application where longer wavelength laser is required. Moreover, the wider emission spectra be helpful in applications such as mode-locking, Q-switching and ultra-fast pulse generation. Finally, the results could also help the grower to control the growth conditions and the molecule fractions of the crystal to improve the spectra properties of the optoelectronics materials.

الملخص

الهدف من هذا البحث هو دراسة الخصائص الضوئية والطيفية لليزر الشبه الموصل ذو النقاط الكمية نوع InP وبيان تاثير اضافة الزرنيخ (As) على هذه الخصائص . في هذا الاطار، تم تحضير عينتين مختلفتين من النقاط الكمية كوسط فعال لليزر هما InP و $InAs_{0.2}P_{0.8}$. تم انماء كلتا العينتان تحت نفس الظروف وبنفس الطبقات المكونة للنبيطة المرسبة باستخدام تقنية MOVPE. لدراسة اداء العينتين تم تحضير ليزر بطول تجويف مقداره 1mm لكلتا المادتين كم تم تحضيرعينة متعددة المقاطع (multi–section device) لقياس طيف الامتصاص للعينتين باستخدام تقنية الاتصال المجزء Segmented contact) (method . تم نمذجة طيف الامتصاص المعدل لحساب الامتصاص البصري للمقطع العرضي optical absorption) (cross section والتعريض غير المتجانس . بالاضافة الى ذلك، تم استخدام دالة لورنز لنمذجة طيف انبعاث الليزر لدراسة التعريض المتجانس وعمر الحاملات.

بينت نتائج الليزر أن كلا العيّنتين أظهرتا أداءً جيداً ضمن مدى واسع من درجات الحرارة (−100 إلى 100 C^o). بينت منحنيات القدرة الضوئية – التيار (P–I) ان العينتين تحتفظ بخاصية الانبعاث الليزر عند درجات حرارة عالية تصل 100^0C. ومع ذلك ، العينة المطعمة بالزرنيخ اظهرت تيار عتبة أكبر ، على سبيل المثال ، عند 20 C^o ، يكون تيار العتبة حوالي 187.8 mA لـ InP و 247.2 mA لـ InAsP. علاوة على ذلك ، اظهرت نتائج منحنيات التيار والفولتية (I–V) خصائص كهربائية جيدة ضمن مدى درجات الحرارة المقاسة لكلتا العينتين. من جهة اخرى، لوحظ زحف في طيف الانبعاث لليزري من حوالي 716nm إلى حوالي 760 nm عند إضافة الزرنيخ إلى عينة InP.

من ناحية أخرى، أظهرت نتائج النمذجة أن إضافة الزرنيخ الى مادة InP تقلل من المقطع العرضي للامتصاص البصري للحالات الأرضية (GS) بمقدار 0.836×10^{-14} $cm^2.ev$، بينما أظهرت الحالة المثارة (ES) نفس القيمة تقريبًا. علاوة على ذلك، اظهرت نتائج النمذجة ان التعريض غير المتجانس لعينة InAsP تضاعف. في حين تبين ان التعريض في عرض الخط لليزر يزداد بمقدار 1.1 meV عند اضافة الزرنيخ يرافقه نقصانا في زمن عمر حاملات التيار من 0.866 Ps إلى 0.222 Ps.

واخيراً، ان زيادة في الطول الموجي للانبعاث يمكن أن تجعل ليزر InAsP QD عنصرا جيدا في تطبيقات العلاج الديناميكي البصري (Photo dynamic therapy) حيث يتطلب ليزر ذو طول موجي اطول. علاوة على ذلك، ان التعريض الغير متجانس الكبير الذي اظهره ليزر InAsP QD مفيدة في تطبيقات وتوليد النبضات فائقة السرعة مثل قفل النمط (mode–locking). إضافة الى ذلك، ان تقليل زمن عمر الحاملات في ليزر InAsP QD يعزز الخصائص الديناميكية لهذا الليزر. ان النتائج التي تم الحصول عليها في هذه الدراسة ممكن ان تساعد في تطوير تصنيع هذه العينات من خلال التحكم في ظروف انماء هذه العينات لتحسين خصائصها الطيفية.

جامعة الموصل

كلية التربية للعلوم الصرفة

دراسة وتحليل الخواص البصرية والطيفية لليزر أشباه الموصلات ذو النقاط الكمية نوع InP / GaAs المطعم بالزرنيخ

رفل زهير بهنام

رسالة ماجستير

الفيزياء

بإشراف

الأستاذ المساعد

الدكتور ايفان بهنام كرومي

١٤٤٤ هـ

٢٠٢٢م