

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Ferhat Abbas- Sétif 1

Institut : Optique et Mécanique de Précision

Département : Optique et mécanique de précision

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Optique et Mécanique de Précision

Spécialité : Optique et photonique appliquée

Mémoire de Master

Calcul du spectre du gain optique des lasers à puits quantiques

Étudié par : SAIDI Kotbia

OUMERTEM Romeyssa

Dirigé par : Prof. HAMADOU Abdelouahab

Devant le jury :

(Président) : Dr. ROUAG Nouari

(Examineur) : Dr. NOURI Abdelhak

Encadreur : Prof. HAMADOU Abdelouahab

Soutenue le : 03 / 07 /2023

Table des matières

Introduction générale.....	i
Partie I : Généralités sur les lasers à puits quantique	1
I.1. Introduction	2
I.2. Historique.....	2
I.3. Effet laser	2
I.4. Les Processus radiatifs dans les semi-conducteurs	3
I.4.1. Absorption.....	3
I.4.2 Emission spontané.....	3
I.4.3. Emission stimulée	4
I.5. Les puits quantiques à semi-conducteur	4
I.5.1. Définition	4
I.5.2. Fabrication : la croissance par épitaxie	5
I.5.2.1. Principe de la croissance par épitaxie par jets moléculaires.....	6
I.5.3. Choix des compositions chimique.....	7
I.5.3.1. Paramètres de maille.....	7
I.5.3.2. Energie de la bande interdite	8
I.5.3.3. L'affinité électronique.....	8
I.5.5. Densité d'états dans les puits quantique.....	10
I.6. Laser à puits quantique.....	12
I.6.1. Structure	12
a) Laser à puits quantiques de type I :	12
b) Laser à puits quantiques de type II :	12
c) Laser à puits quantiques de type III.....	12
I.6.2. Principe de fonctionnement.....	12
I.6.3. Confinements séparés.....	13
I.6.4. Diagramme de directivité	14
I.6.5. Caractéristique puissance-courant.....	14
I.6.6. Seuil d'oscillation.....	15

I.6.7. Condition de Bernard-Duraffourg	15
I.6.8. Matériaux	15
I.6.9. Applications	16
Partie II : Spectre du gain optique dans les lasers à puits quantiques.....	17
II.1. Introduction	18
II.2. Intérêt des alliages InGaAs et InGaAsP	18
II.3. Energie de gap	19
II.4. Energie de quantification.....	20
II.5. Longueur d'onde d'émission	24
II.6. Pseudo-niveaux de Fermi	24
II.7. Spectre du gain optique	27
II.8. Gain maximum	30
Conclusion générale	32
Références.....	33
Résumé.....	34

Table des figures :

Partie I

Figure I.1: Schéma représentatif de l'effet laser [6].....	3
Figure I.2: Absorption, émission spontanée et émission stimulée [8].....	4
Figure I.3 : (a) région de confinement d'un puits quantique et axes, (b) Un simple puits quantique dans une hétéro-structure [7]	5
Figure I.4: Système d'épitaxie par jets moléculaires au laboratoire d'analyse et d'architecture des systèmes à Toulouse (France)[11]	5
Figure I.5: Schéma des différents processus cinétiques de surface pendant la croissance épitaxie [12]	6
Figure I.6: Représentation schématique des trois modes de croissance possible :(a) mode Frank Van der Merwe ; (b) mode de Stranski-Krastanaw ; (c) mode de Volmer-Weber ; θ : l'épaisseur [12]	7
Figure I.7: Diagramme présentant les propriétés de bande interdite et paramètre de maille de différente famille de semi-conducteur [16]	8
Figure I.8: Représentation de l'alignement relatif de bande interdite d'une large famille des matériaux [16]	8
Figure I.9: Profil de bande pour un puits quantique [7]	10
Figure I.10: Divers types d'hétérojonctions définis par la position relative des bandes des semi-conducteurs A et B ; le type 1 est le plus utilise [19]	12
Figure I.11: Dispositif du laser à puits quantique [20]	13
Figure I.12: Deux exemples de structure laser à confinement séparé [21].....	13
Figure I.13: Diagramme de champ lointain d'une diode laser	14
Figure I. 14: Caractéristique puissance-courant de la diode laser [16]	14
Figure I.15 : Le domaine spectral couvert par les matériaux III-V [22]	16

Partie II

Figure II.1 : Représentation schématique d'un puits quantique à base de InGaAsP.....	19
Figure II.2 : Variation de l'énergie du gap en fonction de la température pour différentes valeurs de concentration x.....	20
Figure II.3 : Variation de l'énergie du confinement E_0 dans la bande de conduction et H_0 dans la bande de valence en fonction la largeur du puits L_z pour différentes concentration x.....	23
Figure II.4 : Variation de la longueur d'onde en fonction de la largeur du puits quantique L_z pour différentes températures de fonctionnement.....	24
Figure II.5 : Quasi-niveaux de Fermi dans la bande de conduction et la bande de valence en fonction de dopage N pour différent valeurs de la largeur du puits et à différentes valeurs de T.....	26
Figure II.6: Spectre de gain optique en fonction de la longueur d'onde pour différentes valeurs de dopage N et différentes valeurs de largeur de puits L_z (80, 85,90Å).....	39
Figure II.7. La variation du gain maximum g_{max} en fonction du niveau de dopage N.....	31

Introduction générale

Inventés dans les années 1960, les lasers à semi-conducteurs ont eu un impact considérable tant dans les domaines industriels et commerciaux que militaires. La maîtrise de l'élaboration des semi-conducteurs en couches minces permet aujourd'hui de réaliser des lasers à semi-conducteurs couvrant des longueurs d'ondes d'émission allant du bleu, pour les lecteurs enregistreurs DVD à haute résolution jusqu'au proche infrarouge pour les communications optiques longues distances.

A la fin des années 1970, l'apparition des puits quantique a permis d'améliorer les performances des lasers à semi-conducteurs utilisés pour envoyer les signaux dans les fibres optiques. Traditionnellement, le paramètre de maille du cristal semi-conducteur constituant le puits quantique était ajusté sur celui des barrières, de façon à limiter les contraintes mécaniques.

L'arséniure d'indium et de gallium (InGaAs) est un semi-conducteur composé d'indium, de gallium et d'arsenic. Il est utilisé dans l'optoélectronique en raison de sa vitesse électronique supérieure par rapport aux semi-conducteurs plus courants, le silicium et l'arséniure de gallium. La bande interdite InGaAs en fait également le matériau de détecteur de choix dans les communications par fibre optique à 1300 et 1550 nm. La teneur en indium détermine la densité de porteurs de charge bidimensionnelle [1].

L'utilisation de puits quantiques à base de matériaux InGaAsP dans les lasers à semi-conducteurs est aujourd'hui de plus en plus répandue.

Notre travail présente différents modèles permettant de calculer le gain optique d'un puits quantique. Notre projet est divisé en 2 parties :

La partie 1 présente les principales notions relatives aux matériaux semi-conducteurs, les propriétés des lasers à puits quantiques et les caractéristiques fondamentales nécessaires à la compréhension des structures à puits quantique

La partie 2 présente la modélisation analytique permettant d'étudier l'effet des paramètres physiques tels que la largeur du puits, la concentration et la densité de dopage, sur l'énergie du gap, l'énergie de quantification, la longueur d'onde, les quasi-niveaux de Fermi et sur le spectre de gain optique d'un laser à puits quantique à base de InGaAsP.

Résumé

Ce travail a pour but de calculer le spectre du gain optique des lasers à puits quantique émettant entre 1.3 et 1.6 μ m. Il comporte deux parties. La première partie est une généralité sur les lasers à puits quantique. La deuxième partie est consacrée à l'étude de l'effet de la concentration, de la température de fonctionnement, de la largeur du puits quantiques et du niveau de dopage sur les caractéristiques physiques ainsi que sur le spectre du gain optique du laser. Il a été montré que ces paramètres jouent un rôle primordial sur les performances du laser. Le gain maximum en fonction du niveau de dopage est aussi considéré.

Mots clés : Laser à puits quantique, InGaAsP, spectre du gain, gain maximum.

Abstract :

This aims of this work is to calculate the optical gain spectrum of quantum well lasers emitting between 1.3 and 1.6 μ m. it consists of two parts. The first part provides an overview of quantum well lasers. The second part is devoted to studying of the effect of the concentration, the operating temperature, the quantum well width and the doping level on the physical characteristics as well as the optical gain spectrum of the laser. It has been shown that these parameters play a crucial role in the performance of the laser. The maximum gain as a function of the doping level is also considered.

Key words : Quantum well laser, InGaAsP, gain spectrum, maximum gain

الملخص

يهدف هذا العمل إلى حساب طيف الكسب البصري لليزر آبار الكم تتبعث منها بين 1.3 و 1.6 ميكرومتر. وهو يتألف من جزأين. يقدم الجزء الأول نظرة عامة من ليزر البئر الكمومي. الجزء الثاني مخصص لدراسة تأثير التركيز ودرجة حرارة التشغيل وعرض البئر الكمي ومستوى المنشطات على الخصائص الفيزيائية بالإضافة إلى طيف الكسب البصري لليزر ، وقد ثبت أن هذه المعلمات تلعب دورًا مهمًا في أداء الليزر. كما يؤخذ في الاعتبار الحد الأقصى للربح كدالة لمستوى المنشطات.

الكلمات الأساسية: ليزر آبار الكم ، اكتساب الطيف ، الكسب الأقصى