

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : Electronique

Spécialité : Instrumentation

Par : (BENTALHA Zakaria & SENHADJI Ibrahim)

Sujet

Etude et simulation d'une diode laser à semi-conducteur

Soutenu publiquement, le / 06 / 2023 , devant le jury composé de :

Mme GUEN Ahlem	Professeur	Université de Tlemcen	Président
Mme RAHOU Fatima Zohra	MCB	Université de Tlemcen	Examineur
Mme KADDOURI Nadera	MCB	Université de Tlemcen	Encadreur

Année universitaire : 2022/2023

Ce projet de fin d'études est dédié :

À nos mères et pères

À nos frères et sœurs

À nos amies

Remerciements

Nous remercions d'abord, Allah qui nous a donné la force et le courage afin de parvenir à élaborer ce modeste travail.

Nous remercions vivement notre encadreur **Mme. KADDOURI Nadera**, Maitre de Conférence Classe B à l'Université Abou-Bekr Belkaid – Tlemcen pour nous avoir offert un cadre de travail agréable et un encadrement de qualité. Nous sommes très reconnaissants pour la confiance qu'elle nous a accordée, ses conseils judicieux, sa disponibilité et le soutien constant qu'il nous a prodigués au cours de l'élaboration de ce travail, la patience qui ont constitué un mémoire considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être mené à bon port. Qu'il trouve dans ce travail un hommage vivant à sa haute personnalité.

Nos remerciements les plus vifs s'adressent aussi aux membres de jury ; **Mme GUEN Ahlem**, professeur à l'Université de Tlemcen, présidente du jury et **Mme RAHOU Fatima Zohra**, Maitre de Conférence Classe B à l'Université de Tlemcen, d'avoir accepté d'examiner et d'évaluer notre travail.

Nous remercions tous nos enseignants du département de Electronique à l'Université Abou-Bekr Belkaid – Tlemcen, sans oublier de citer tous les enseignants qui ont contribué à notre formation depuis l'école primaire jusqu'aux études universitaires.

Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.



Résumé

L'objectif de ce travail est l'étude des diodes lasers à base des semi-conducteurs III-V, on a présenté les propriétés des matériaux qui les constituent, leurs principes de fonctionnement et leurs différentes applications. Deux structures à double hétérojonctions de même dimensions ont été choisies : la première à base des matériaux ternaires AlGaAs/GaAs ; la deuxième à base des matériaux quaternaires InGaAsP/InP. La simulation par le simulateur Silvaco Atlas des structures étudiées a permis de montrer l'influence de quelques paramètres (la température, la fraction molaire, la longueur de la cavité, le dopage et l'épaisseur de la région active) sur les caractéristiques électriques et optiques des diodes lasers étudiées.

Mots clés : semi-conducteurs III-v, diodes lasers, hétérojonction, dopage, InP, GaAs, InGaAsP, AlGaAs.

ABSTRACT

This work deals on the study of laser diodes based on semiconductor III-V, the properties of the materials that constitute them, their operating principles have been presented and their different applications. Two structure double heterojunctions of the same dimensions have been chosen : the first made of the AlGaAs/GaAs materials ; the second based on InGaAsP/InP quaternary materials.

The simulation by Silvaco Atlas simulator of model studied, show the influence of some parameters (the temperature, the molar fraction, the cavity's length, doping and thickness of the active region) on the electrical and optical characteristics of the diode lasers studied.

Key word : III-V semiconductor, lasers diode, heterojunction, doping, InP, GaAs, InGaAsP, AlGaAs.

ملخص

يهدف هذا العمل على دراسة الصمامات الثنائية الليزرية القائمة على مواد شبه موصلة، وذلك من خلال إبراز خصائص المواد التي تشكلهم، وتقديم مبادئ التشغيل الخاصة بهم وكذا مختلف تطبيقاتهم. تم اختيار اثنين من الهياكل متغايرة التقاطع وبنفس الأبعاد: الأول مصنوع من مواد (AlGaAs/GaAs) والثاني من مواد (InGaAsP/InP). محاكاة هذه الهياكل عبر المحاكاة أظهرت تأثير بعض الإعدادات (مثل درجة الحرارة، التركيز المولي، عرض التجويف، سمك الطبقة النشطة وكثافة الإلكترونات المحقونة فيها) على الخصائص الكهربائية والبصرية للصمامات الثنائية الليزرية المدروسة.

الكلمات المفتاحية : شبه موصلة III-V، الصمام الثنائي الليزر، متغايرة التقاطع، حقن، InP, GaAs, InGaAsP, AlGaAs.

Dédicace.....	i
Remerciement	ii
Résumé	iii
Table des matières.....	iv
Liste des figures.....	vi
Liste des tableaux	ix
Abréviations	x
Introduction générale.....	1

Chapitre 01 : Généralités sur les matériaux semi-conducteurs III-V

I.1 Introduction	4
I.2 Les matériaux semi-conducteurs III-V.....	4
I.3 Composés binaires, ternaires et quaternaires des semi-conducteurs III-V	4
I.3.1 Composés binaires	4
I.3.2 Composés ternaires et quaternaires	5
I.4 Structure cristalline	6
I.5 Paramètres physiques des matériaux III-V	6
I.5.1 Permittivité statique	6
I.5.2 Mobilités des porteurs	7
I.5.3 Paramètre de réseau et fractions molaires	7
I.5.4 Structure de bande d'InP	8
I.5.5 Structure de bande de l'InGaAsP	9
I.5.6 Structure de bande du GaAs	10
I.5.7 L'alliage AlGaAs	11
I.5.8 Les mécanismes de recombinaisons des porteurs	12
I.5.9 Le facteur d'émission spontanée	13
I.6 Le gain optique	13
I.7 conclusion	14
Références de chapitre 01	15

Chapitre 02 : Étude théorique des structures des diodes lasers

II.1	Introduction	18
II.2	Historique	18
II.3	L'effet laser	18
II.4	Composition d'un laser	19
II.5	Rayonnement laser	20
II.6	Caractéristiques d'un faisceau laser	20
II.7	Principe de fonctionnement d'une diode laser	20
II.8	Les différents types des diodes laser	21
II.8.1	Diodes lasers à émission par la tranche	21
II.8.2	Diodes laser à émission par la surface	23
II.9	Diodes lasers à Semi-conducteur	24
II.9.1	Diodes laser à homo-jonction	24
II.9.2	Diode Laser à hétérojonction	25
II.9.3	Diode Laser à puits quantiques	27
II.10	Applications des diodes lasers	29
II.11	Conclusions	29
	Références de chapitre 02	30

Chapitre 03 : Simulation et interprétation des résultats

III.1	Introduction	33
III.2	Constitution et simulation des structures des diodes lasers	33
III.3	Etude de l'influence des paramètres géométriques et physiques sur les deux structures InGaAsP/ InP et AlGaAs/ GaAs	35
III.3.1	Intensité optique	35
III.3.2	Champ électrique	36
III.3.3	Diagramme des bandes d'énergie	38
III.3.4	Caractéristique courant-tension (I-V)	39
III.3.5	Caractéristiques puissance-tension (P-V) et puissance-courant (P-I)	40
III.3.6	Effet températures	44
III.3.7	Effet cavité	49
III.3.8	Effet de dopage	51
III.3.9	Effet de variation de l'épaisseur de couche active	53
III.4	Conclusion	55

Références de chapitre 03	56
Conclusion générale	57

Liste des figures

Chapitre 01 : Généralités sur les matériaux semi-conducteurs III-V

- Figure I.1** : Réseau cristallin de la structure Zinc-blende.
- Figure I.2** : Composition de la couche active $\text{In}_{(1-x)}\text{Ga}_x\text{As}_y\text{P}_{(1-y)}$
- Figure I.3** : Structure des bandes de InP
- Figure I.4** : Énergie de la bande interdite du InGaAsP à $T = 300 \text{ °K}$.
- Figure I.5** : Structure de bande du GaAs
- Figure I.6** : Différents Mécanismes de recombinaison radiative et non radiative
- Figure I.7** : Courbes montrant la relation linéaire entre le gain et la densité de porteurs injectée dans la région active pour deux valeurs de la fraction molaire $y=0.60$ et $y= 0.90$.

Chapitre 02 : Etude théorique des structures des diodes lasers

- Figure II.1** : Schéma de l'absorption inter bande
- Figure II.2** : Schéma de l'émission spontanée
- Figure II.3** : Schéma de l'émission stimulée
- Figure II.4** : schéma d'une cavité Diode Laser
- Figure II.5** : Laser Fabry-Pérot traité AR/HR
- Figure II.6** : Schéma de principe d'une diode DFB et d'une diode DBR
- Figure II.7** : Schéma de principe d'un VCSEL et photo d'un empilement.
- Figure II.8** : Schéma d'un laser classique comparé avec celui d'un laser à émission par la surface
- Figure II.9** : Structure à homojonction
- Figure II.10** : Diagramme de bandes d'énergies d'une structure à homojonction
- Figure II.11** : Structure à hétérojonction.
- Figure II.12** : Diagramme de bandes d'énergies d'une structure à homo-jonction
- Figure II.13** : Structure à double-hétérojonction
- Figure II.14** : Diagramme de bandes d'énergies d'une structure à hétérojonction
- Figure II.15** : Profil de puits quantique de type I.
- Figure II.16** : Profil de puits quantique de type II.

Figure II.17 : Profil de puits quantique de type III.

Chapitre 03 : Simulation et Interprétation des Résultats

Figure III.1 : Structures des deux diodes lasers étudiées

Figure III.2 : Maillage des deux diodes lasers étudiées

Figure III.3 : Dopage net de la diode laser InGaAsP/ InP

Figure III.4 : Dopage net de la diode laser AlGaAs/ GaAs

Figure III.5 : Intensité optique dans la diode laser InGaAsP/ InP

Figure III.6 : Intensité optique dans la diode laser AlGaAs/ GaAs

Figure III.7 : Comparaison de l'intensité optique dans les deux diodes laser étudiés.

Figure III.8 : Distribution du champ électrique dans la région active de la diode laser InGaAsP/ InP.

Figure III.9 : Distribution du champ électrique dans la région active de la diode laser AlGaAs/ GaAs.

Figure III. 10 : Comparaison de la distribution de champ électrique dans les deux diodes laser étudiés.

Figure III. 11 : Distribution du champ électrique dans la région active de la diode laser InGaAsP/ InP avec les directions (X et Y).

Figure III. 12 : Distribution du champ électrique dans la région active de la diode laser AlGaAs/ GaAs avec les directions (X et Y).

Figure III. 13 : Diagramme de bande d'énergie pour les deux diodes laser étudiées

Figure III. 14 : Caractéristique courant-tension des deux diodes lasers étudiées.

Figure III. 15 : Comparaison des caractéristiques courant-tension des deux diodes lasers étudiées.

Figure III. 16 : Caractéristique puissance -tension des deux diodes lasers étudiées.

Figure III. 17 : Comparaison des caractéristiques puissance-tension des deux diodes lasers étudiées.

Figure III. 18 : Comparaison des caractéristiques puissance-courant des deux diodes lasers étudiées.

Figure III. 19 : Les indices de réfractifs Re et Im de la diode laser AlGaAs/ GaAs

Figure III. 20 : Les indices de réfractifs Re et Im de la diode laser InGaAsP/ InP

Figure III. 21 : Comparaison des recombinaisons caractéristiques des deux diodes étudiées

Figure III. 22 : Caractéristiques des Concentrations des porteurs

Figure III. 23 : Caractéristiques des Concentrations des électrons et des trous pour les deux structures étudiées

Figure III. 24 : Effet thermique sur la caractéristique courant-tension des deux diodes lasers étudiées.

Figure III. 25 : Effet thermique sur la caractéristique puissance-tension des deux diodes lasers étudiées

Figure III. 26 : Effet thermique sur la caractéristique Laser power des deux diodes lasers étudiées

Figure III. 27 : Effet thermique sur la densité des photons dans deux diodes lasers étudiées

Figure III. 28 : Effet thermique sur le champ électrique de la diode laser InGaAsP/ InP

Figure III. 29 : Effet thermique sur le champ électrique de diode laser AlGaAs/ GaAs

Figure III. 30 : Effet thermique sur le diagramme de bande d'énergie pour les deux diodes étudiées

La figure III.31 : L'effet thermique sur la recombinaison caractéristique

La figure III.32 : Effet thermique sur le potentiel dans les deux diodes étudiées

La figure III.33 : Effet thermique sur la densité totale du courant des deux diodes lasers étudiées

La figure III.34 : L'effet de la largeur de cavité sur l'intensité des deux diodes lasers étudiées

Figure III. 35 : L'effet de la largeur de cavité sur la caractéristique Laser power des deux diodes lasers étudiées

La figure III.36 : Effet de la largeur de cavité sur la densité des photons dans les deux diodes lasers étudiées

La figure III.37 : Effet de la largeur de cavité sur la puissance totale dans les deux diodes lasers

La figure III.38 : le net doping dans les deux diodes étudiées

La figure III.39 : L'effet de variation de dopage la densité des photons dans les deux diodes

La figure III.40 : L'effet de variation de dopage sur la puissance total émise dans les deux diodes étudiées

La figure III.41 : L'effet de variation de l'épaisseur de couche de la région active sur l'intensité optique dans la diode InGaAsP/InP.

La figure III.42 : L'effet de variation de l'épaisseur de couche de la région active sur l'intensité optique dans la diode AlGaAs/ GaAs

La figure III.43 : L'effet de variation de l'épaisseur de couche de la région active sur les deux diodes étudiées

Liste des tableaux

Chapitre 01 : Généralités sur les matériaux semi-conducteurs III-V

Tableau I.1 : Extrait de la classification périodique des éléments.

Tableau I.2 : Propriétés des principaux composés binaires III-V à 300 K

Tableau I.3 : Paramètres de la bande de conduction dans GaAs et InP

Tableau I.4 : Les paramètres physiques de Ga_{1-x}Al_xAs en fonction de la fraction x de l'Aluminium.

Liste des abréviations utilisées

P : phosphore

In : indium

Ga : Gallium

AL : Aluminium

AS : Arséniure

InP : le phosphure d'indium

GaAs : Arséniure de gallium

InGaAsP : Arséniure-phosphure de gallium-indium

AlGaAs, Al_xGa_{1-x}As : Arséniure d'aluminium-gallium

B : Bore

C : Carbone

N : Nitrogène

Si : Silicone

Ge : Germanium

Sb : Antimoine

E_v : le degré d'énergie de la bande de valence

E_c : le degré d'énergie de la bande de **conduction**

E_g : le degré d'énergie de la bande d'interdit

E_{ga} : l'énergie de la bande interdite de la région active du laser

h : la constante de Planck

c : la rapidité de la lumière dans le vide

ϵ_s : Permittivité statique

ϵ_0 : la permittivité du vide

μ_n : mobilité des électrons

μ_p : mobilité des trous

Γ : Le facteur de confinement optique

VCSEL : "Vertical Cavity Surface Emitting Laser"

Introduction général

Actuellement on remarque un développement important dans la technologie des semi-conducteurs.

Les matériaux semi-conducteurs attirent un intérêt progressif dans tous les domaines comme le laser. Cette importance résulte de leurs propriétés électroniques et optiques. Ce sont des matériaux qui interviennent dans la constitution de la plupart des composants électronique. Aussi les recherches sur les semi-conducteurs dévoilent l'importance des d'alliages semi-conducteurs, tels que les composés III-V.

Au moment où la plus par des composants (transistors, diodes, ...) ont été réalisées à partir de la technologie de silicium, l'optoélectronique nécessite l'introduction de nouveaux matériaux, dont les propriétés électriques (mobilités des porteurs, recombinaisons, transitions électroniques et absorption optique) son meilleur par rapport à celle de silicium.

Les composés semi-conducteurs III-V son meilleur à d'autres matériels. On citera par exemple quelques composés binaires et ternaires et quaternaires : InP, GaAs, AlGaAs, InGaAs, InGaAsP,... Les propriétés de ces matériaux sont très intéressantes pour les performances de ces dispositifs surtout on optoélectroniques.

Le laser ou **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation est constitué par un milieu amplificateur qui génère un gain optique, et un résonateur qui permet l'oscillation d'une onde optique dans le milieu actif (amplificateur), ou la création d'un rayonnement optique par pompage appliquée sur une cavité. Le laser est fabriqué par la superposition des couches de semi-conducteurs, donc c'est un laser à semi-conducteur.

Au cours de ce mémoire nous avons étudié deux structures lasers à base des semi-conducteurs III-V par la modélisation de leurs caractéristiques électriques, thermiques et optiques, et on utilisons le logiciel simulation Atlas de Silvaco

Les semi-conducteurs employés dans notre travail sont de la famille III-V (InP, InGaAsP, GaAs, AlGaAs) qui sont des semi-conducteurs à gap directs,

La structure (InP/InGaAsP) et la structure (GaAs/AlGaAs) sont les plus étudié et les plus utiliser pour la réalisation des diodes lasers. Pour différentes raisons :

Le GaAs et l'InP sont des semi-conducteurs à gap direct ou la recombinaison radiative des électrons et des trous peut se faire à travers la bande interdite par simple émission de photons sans nécessiter d'interaction c'est pour quoi ce genre de matériaux sont privilégiés sur tout pour réalisation des diodes électroluminescentes et des diodes laser.

Le composé ternaire AlGaAs peut être fabriqué sur une gamme étendue de compositions.

Les diodes laser actuelles sont à hétérojonctions et à base d'alliages ternaires (exemple : AlGaAs) et quaternaires (exemple : InGaAsP). [1]

Ainsi en variant la fraction x d'aluminium dans le mélange $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$, une jonction PN à l'AlGaAs peut émettre de 750 nm à 900 nm. [1]

L'InGaAsP est principalement utilisé pour la fabrication de composants qui émettent vers 1300 nm et 1550 nm. [1]

Le présent travail comporte trois chapitres distincts :

- Le premier chapitre présente les notions fondamentales des matériaux semi-conducteurs III-V.
- Le deuxième chapitre du mémoire est consacré à l'étude théorique des structures des diodes lasers.
- Le troisième chapitre est organisé en deux parties. Dans la première partie, nous avons présenté le logiciel de simulation Silvaco, avec ses outils. Et dans la deuxième partie, nous avons présenté nos résultats obtenus avec interprétation

Nous avons terminé l'étude par une conclusion générale.

chapitre I

Généralités sur les matériaux semi- conducteurs III-V

I. 1 Introduction

Les grands laboratoires de recherches s'intéressent actuellement à d'autres matériaux plus particuliers comme les semi-conducteurs III-V. [1] Qui ont d'excellentes propriétés de transport. Et c'est dû aux résultats promis enregistrés dans le domaine optoélectronique.

Les alliages semi-conducteurs III-V offrent théoriquement un gain optique très intéressant pour les dispositifs optiques comme les diodes lasers. Puisqu'ils peuvent couvrir une vaste gamme de longueurs d'onde a priori. Nous allons présenter les principales notions des semi-conducteurs et qui seront exploités dans la conception des diodes laser. [2]

I. 2 Les matériaux semi-conducteurs III-V

L'alliage entre les matériaux semi-conducteur de la troisième colonne de classification chimique et de la colonne Cinq à donner naissance aux nouveaux matériaux semi-conducteurs III-V. Le tableau (I-1) présente quelques matériaux de cette classification, où le nombre en haut représente le numéro atomique et le nombre du bas représente la masse atomique. Alors nous pouvons produire plusieurs composés binaires [1]

III	IV	V
$10.81^{5}B$	$12.01^{6}C$	$14.01^{7}N$
$26.98^{13}Al$	$28.09^{14}Si$	$30.97^{15}P$
$69.74^{31}Ga$	$72.59^{32}Ge$	$74.92^{33}As$
$114.82^{49}In$	$118.69^{50}Sn$	$121.75^{51}Sb$

Tableau I-1 : aperçu sur les matériaux de la classification chimique des éléments [1]

I. 3 Composés binaires, ternaires et quaternaires des semi-conducteurs III-V

I.3.1 Composés binaires

Pour effectuer plus de recherche sur les propriétés des composés III-V, il faut commencer par étudier leurs structures de bande. [1]

Dans l'optoélectronique, on aura besoin des semi-conducteurs à forte mobilité de porteurs et d'une structure de gap directe pour que les transitions optiques soient efficaces. Autre les

Chapitre 01 : Généralités sur les matériaux semi-conducteurs III-V

éléments comme le thallium ou le bismuth donnent des composés basés sur le galium (GaAs, GaSb) ou l'indium (InP, InAs, InSb) avec des propriétés plus intéressantes. Le tableau (I-2) présente quelques paramètres de la famille III-V. [4,5]

Composés III-V	Eg (ev)	m* / m°	μ (cm ² /VS)	a (A°)
BN	7.5	-	-	3.6150
AlP	2.45	-	-	5.4510
AlAs	2.16	-	-	5.6605
AlSb	1.58	0.12	200	6.1355
BP	2.0	-	-	4.5380
GaN	3.36	0.19	380	a = 3.189 b = 5.185
GaP	2.26	0.82	110	5.4512
GaAs	1.42	0.067	8500	5.6533
GaSb	0.72	0.042	5000	6.0959
InP	1.35	0.077	4600	5.8686
InAs	0.36	0.023	33000	6.0584
InSb	0.17	0.0145	80000	6.4794

Tableau I.2 : Propriétés des principaux composés binaires III-V à 300 K [4], [5].

I.3.2 Composés ternaires et quaternaires

Les composés ternaires et quaternaires sont des alliages par substitution partielle d'un élément par rapport un autre élément. [1]

La réalisation de ce genre d'alliage se réalise de la façon suivante :

- **Ternaires : substitution de 2 atomes** $A_x A_{(1-x)} B$

Exemple : $Ga_x In_{(1-x)} P$, lorsque la composition est faible, on écrit tout court GaInP.

- **Quaternaires 1+3** : c'est une substitution de 3 atomes : $A_x A_y A_{(1-x-y)} B$.

Exemple : $Ga_x In_y Al_{(1-x-y)} As$

- **Quaternaires 2+2** : c'est une substitution de 2 atomes, soit : $A_x A_{(1-x)} B_y B_{(1-y)}$.

Exemple : $Ga_x In_{(1-x)} P_y As_{(1-y)}$.

La plupart des solutions solides produites respecte la loi de Vegard, qui assure une relation linéaire entre la composition et le paramètre de réseau. Alors le taux de substitution varie, à une progression régulière avec la qualité de la solution, les paramètres cristallins et bande interdite. [1]

I. 4 Structure cristalline

La plupart des matériaux III-V se cristallisent dans la structure sphalérite dite "Zinc Blende" présentée sur la figure (I-1). Cette structure, qui se ressemble à celle du diamant, est constituée de deux sous-réseaux cubiques à faces centrées, l'un étant constitué des atomes de l'élément III, l'autre des atomes de l'élément V [5], [6], [7].

En posant les deux sous-réseaux s en diagonale dans le cube. [1]

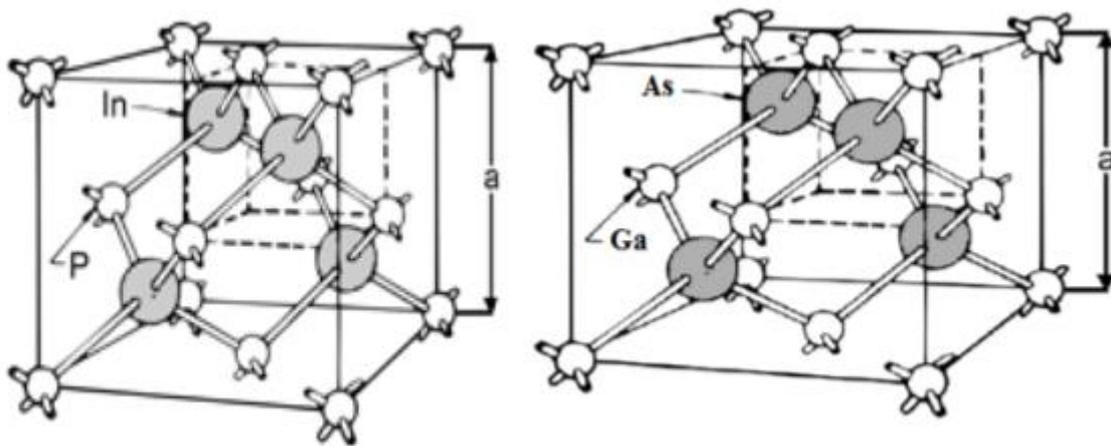


Figure I.1 : présentation de réseau cristallin de la structure Zinc-blende. [1]

I. 5 Paramètres physiques des matériaux semi-conducteur III-V

I.5.1 Permittivité statique

La permittivité statique (basse fréquence) de l'InGaAsP est donnée par [8], [9] :

$$\epsilon_{s(y)} = (12.40 + 1.5y)\epsilon_0 \quad (\text{I.1})$$

Où ϵ_0 est la permittivité du vide. L'expression qui précède est obtenue en interpolant les valeurs de la permittivité statique des composés binaires GaAs, GaP, InAs et InP.

I.5.2 Mobilités des porteurs

Les deux relations présentent les variations des mobilités μ_n et μ_p par rapport à la concentration de dopant, composition du matériau et la température de cette façon suivante [8], [11] :

$$\mu_n(y, T, Nd) = \frac{5000 \text{ cm}^2/V.S}{[1 + \frac{N}{1.22 \cdot 10^{16}}]^{0.191}} f_n(y) \left(\frac{300}{T}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{I.2})$$

$$\mu_p(y, T, Na) = \frac{5000 \text{ cm}^2/V.S}{[1 + \frac{N}{2.71 \cdot 10^{16}}]^{0.272}} f_p(y) \left(\frac{300}{T}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (\text{I.3})$$

Avec $N = N_d + N_a$ (concentration totale de dopant exprimée en cm^{-3}). Les Fonctions $f_n(y)$ et $f_p(y)$ représentent la dépendance des mobilités par rapport à la Composition du matériau. [11]

I.5.3 Paramètres de réseaux et fractions molaires

Nous considérons des lasers dont la région active est formée par le composé quaternaire $\text{In}_{(1-x)}\text{Ga}_x\text{As}_y\text{P}_{(1-y)}$ et les couches de confinement par le composé binaire InP. Pour obtenir des lasers de bonne qualité, il est essentiel que les fractions molaires x et y soient choisis de façon à ce que les paramètres de réseau des semi-conducteurs $\text{In}_{(1-x)}\text{Ga}_x\text{As}_y\text{P}_{(1-y)}$ et InP soient accordés. La loi de Vegard permet d'exprimer le paramètre de réseau du $\text{In}_{(1-x)}\text{Ga}_x\text{As}_y\text{P}_{(1-y)}$ en fonction des paramètres de réseau des composés binaires GaAs, GaP, InAs et InP [8, 10, 12] :

$$a(x, y) = xy a(\text{GaAs}) + x(1-y)a(\text{GaP}) + (1-x)y a(\text{InAs}) + (1-x)(1-y)a(\text{InP})$$

Connaissant les paramètres de réseau des composés binaire, la condition d'accord

$a(\text{In}_{(1-x)}\text{Ga}_x\text{As}_y\text{P}_{(1-y)}) = a(\text{InP})$, relie les fractions x et y de la façon suivante :

$$x = \frac{0.4526y}{1 - 0.031y} \quad (\text{I.4})$$

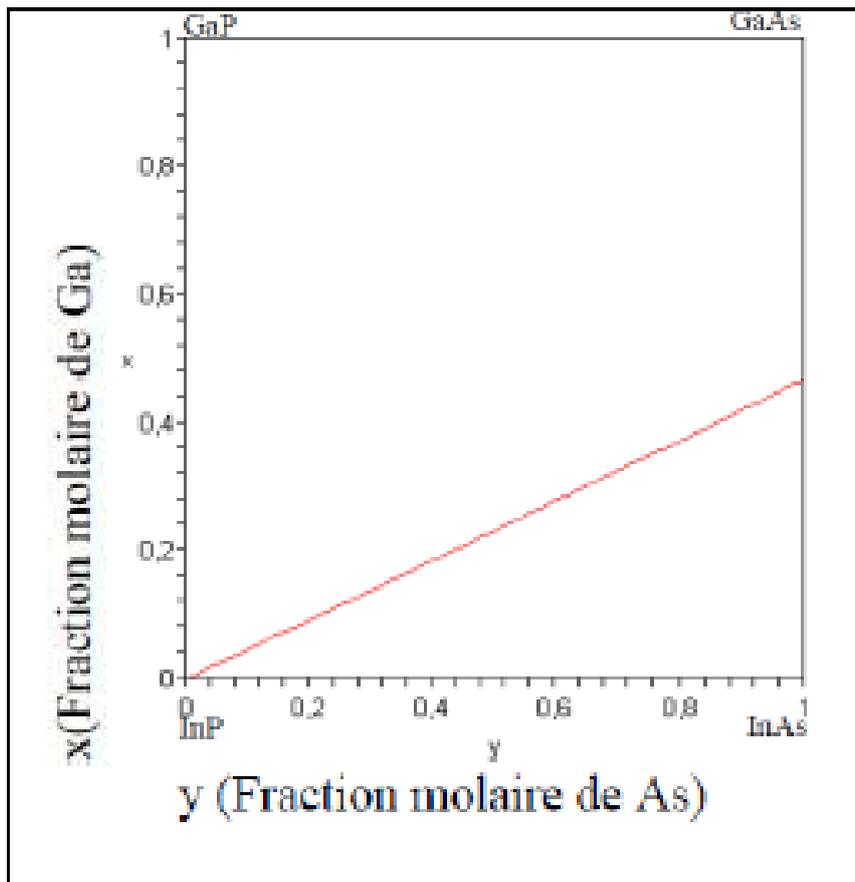


Figure I.2 : Composition de la couche active $\text{In}_{(1-x)}\text{Ga}_x\text{As}_y\text{P}_{(1-y)}$ [13]

L'accord du paramètre de réseau du InGaAsP et celui du InP sont présentés dans la figure I.2. Nous remarquons que l'énergie de la bande interdite du $\text{In}_{(1-x)}\text{Ga}_x\text{As}_y\text{P}_{(1-y)}$ change considérablement.

La longueur d'onde d'émission des lasers InGaAsP-InP peut être fixée entre environ 1 à $1,65\mu\text{m}$ en choisissant correctement les fractions molaires x et y . [13]

I.5.4 Structure des bandes de InP

Le InP est un composé III-V à gap direct c'est à dire l'énergie minimale de la bande de conduction correspond à l'énergie maximale de la bande de valence.

Le tableau (I-3) donne les valeurs de masse effective pour différentes vallées et le gap d'énergie entre les minima max et min à basse température et à température ambiante [1]

Température	GaAs		InP	
	300K	77K	300K	77K
$\Delta E_g (ev)$	1,43	1,51	1,35	1,41
$\lambda (\mu_m)$	0,87	0,82	0,92	0,88
$\Delta E_{\Gamma L} (ev)$	0,33	0,33	0,54	0,61
$\Delta E_{\Gamma X} (ev)$	0,48	0,46	0,76	0,755
$m_{e\Gamma^*} / m_0$	0,063	0,067	0,078	0,082
m_{eL^*} / m_0	0,22	0,22	0,22	0,22
m_{eX^*} / m_0	0,58	0,58	0,384	0,384

Tableau I.3 : Représentation des paramètres de chaque bande de conduction de GaAs et InP [1], [5].

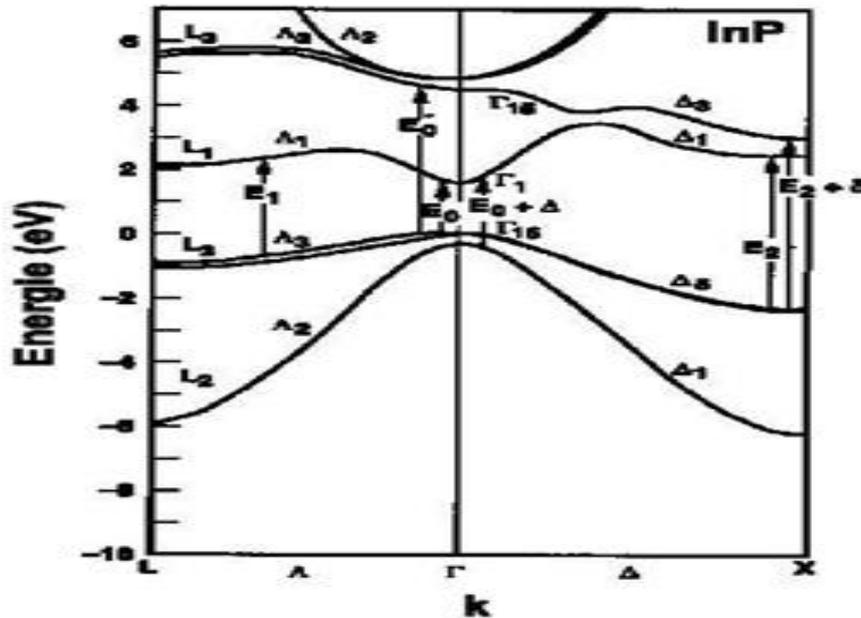


Figure I.3 : Représentation d'une Structure à 3 bandes de InP [5].

Tous les composés III-V ont la même forme générale des bandes directes (InAs, InSb, GaAs, GaSb,...). Que le InP

I.5.5 Structure des bandes du InGaAsP

Pour $0 \leq y \leq 1$, le $\text{In}_{(1-x)}\text{Ga}_x\text{As}_y\text{P}_{(1-y)}$ est un semi-conducteur à gap direct. L'énergie de la bande interdite est déterminée par la longueur d'onde d'émission du laser ($\lambda \approx hc/E_{ga}$, où E_{ga} est l'énergie de la bande interdite de la région active du laser). [14] :

$$E(y; T) = 1.42 - \frac{3.63 \cdot 10^{-4} T}{T+162} - 0.72y + 0.12y^2 \quad (I.5)$$

Dans cette relation,

T : est la température absolue

E_g : est exprimé en eV.

La figure I.4 représente la variation de l'énergie de gap (bande interdite) du $\text{In}_{(1-x)}\text{Ga}_x\text{As}_y\text{P}_{(1-y)}$ par rapport à la fraction de la population y pour la température $T = 300 \text{ °K}$. [13]

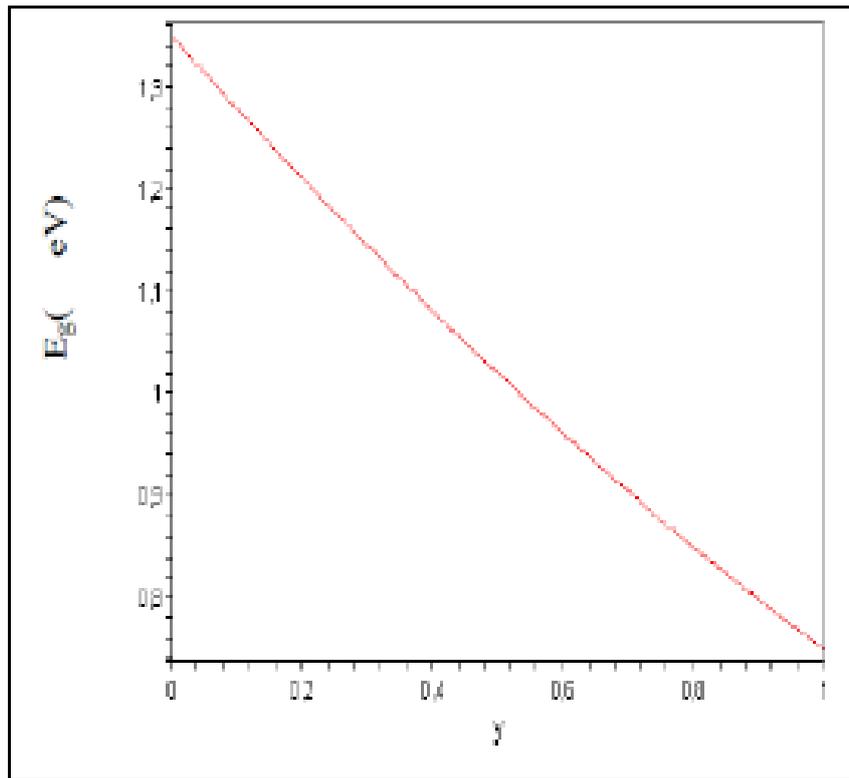


Figure I.4 : le gap pour InGaAsP à $T = 300 \text{ °K}$. [13]

I.5.6 Structure des bandes de GaAs

La figure (I.5) représente la structure des bandes de semi-conducteur GaAs.. À l'équilibre thermodynamique La bande de valence est remplie d'électrons et la bande de conduction est vide [15], [16].

A la température ambiante fonctionnent grande majorités des composants électroniques,

Les électrons qui ont la possibilité de sauter de la bande de valence a la bande de conduction sont les électrons qui sont excitée. [15].

La structure de GaAs permet à la lumière d'être absorbée et émise efficacement que dans le cas des matériaux à gap indirecte comme le AlAs. [16]

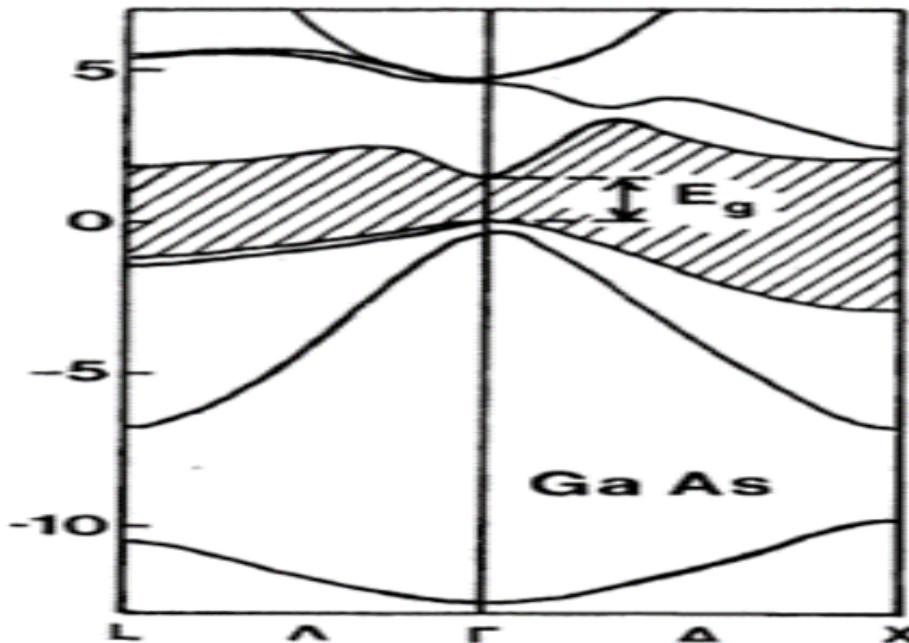


Figure I.5 : présentation de la Structure des bandes du semi-conducteur GaAs [17].

Le GaAs est un composé III-V à transition directe. C'est à dire l'énergie minimale de la bande de conduction correspond à l'énergie maximale de la bande de valence, ce qui donne des propriétés électroniques intéressantes. [15], [16].

I.5.7 L'alliage $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$

L'association de GaAs et AlAs crée l'alliage $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ qui est une solution solide, les deux matériaux ont la même structure cristalline, la nature de la transition d'énergie de l'alliage $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ varie selon le taux d'aluminium x , entre 0 et 1.

Si la fraction d'Aluminium est inférieure à 0,45, la transition est dite directe. Mais si le taux d'Aluminium devient supérieur à 0,45 la transition devient indirecte, sur le tableau I-4 nous avons présenté les différents paramètres physiques des $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ fournis selon la fraction x de Al. [15], [16], [18].

Les propriétés électriques de l'alliage Al_xGa_{1-x}As à 300K	Expression
Constante diélectrique (statique) ϵ_r	$12.9 + 2.84x$
Affinité électronique χ [$x < 0.45$] [$x > 0.45$]	$4.07 - 1.1x$ eV $3.64 - 0.14x$ eV
Mobilité des électrons μ_n : [$0 < x < 0.45$] [$0.45 < x < 1$]	$8.103 - 2.2104x + 104x^2$ cm ² V ⁻¹ s ⁻¹ $-255 + 1160x - 720x^2$ cm ² V ⁻¹ s ⁻¹
Mobilité des trous μ_p	$370 - 970x + 740x^2$ cm ² V ⁻¹ s ⁻¹
Gap d'énergie E_g : $x < 0.45$ $x > 0.45$	$1.424 + 1.247x$ eV $1.9 + 0.125x + 0.143x^2$ eV
Densité effective d'états de la bande de conduction N_c $x < 0.41$ $x > 0.45$	$2.5 \cdot 10^{19} \cdot (0.063 + 0.083x)^{3/2}$ cm ⁻³ $2.5 \cdot 10^{19} \cdot (0.85 - 0.14x)^{3/2}$ cm ⁻³
Densité effective d'états de la bande de valence N_v	$2.5 \cdot 10^{19} \cdot (0.51 + 0.25x)^{3/2}$ cm ⁻³

Tableau I.4 : Les paramètres physiques de Ga_{1-x}Al_xAs en fonction de la fraction x de l'Aluminium. [16]

I.5.8 Mécanismes de recombinaisons des porteurs

La recombinaison des porteurs de charges se réalise suivant ses principaux mécanismes :

- ✚ Recombinaisons radiatives [13]
- ✚ Recombinaisons non radiatives [19], On distingue deux types :
 - Les recombinaisons Shockley-Hall-Read
 - Les recombinaisons Auger

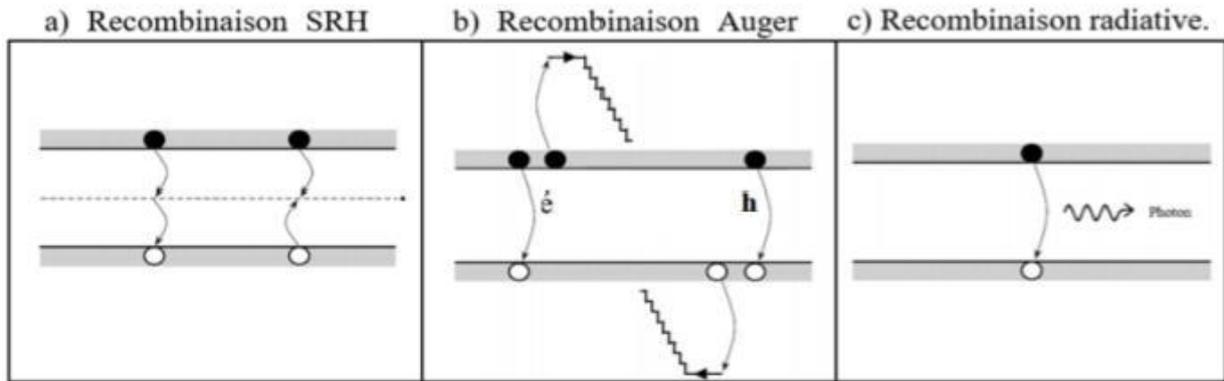


Figure I. 6 : Mécanismes de recombinaison radiative et non radiative [20]

I.5.9 Facteur d'émission spontanée

β représente le facteur d'émission spontanée qui est déterminé par la fraction de la lumière, émise par recombinaison spontanée, couplée région active du laser.

Ce facteur d'émission spontanée dépend des caractéristiques spectrales de l'émission spontanée et des mécanismes de guidage présents dans le laser. L'indice d'émission spontanée est de l'ordre de, $\beta = 5 * 10^{-3}$, [10], [13]

I. 6 Gain optique

On peut calculer le gain optique à partir de la structure de bande du InGaAsP et de l'élément de matrice associé aux transitions directes, Pour des régions dopées P on prend souvent une approximation linéaire du gain en fonction de la densité de porteurs injectés donnée par formule [13]:

$$g(n) = an - b \quad (I.6)$$

Les paramètres a et b peuvent être évalués à partir de résultats théoriques ou expérimentaux.

Nous utilisons le modèle suivant pour les paramètres a et b :

$$a(y,T) = 1.10^{-16} e^{\left(\frac{Eg(y,T)}{3.4}\right)} e^{\left(\frac{173.8}{T}\right)} \quad (I.7)$$

$$b(y,T) = 158.5 e^{\left(\frac{Eg(y,T)}{1.34}\right)} e^{\left(\frac{-231.8}{T}\right)} \quad (I.8)$$

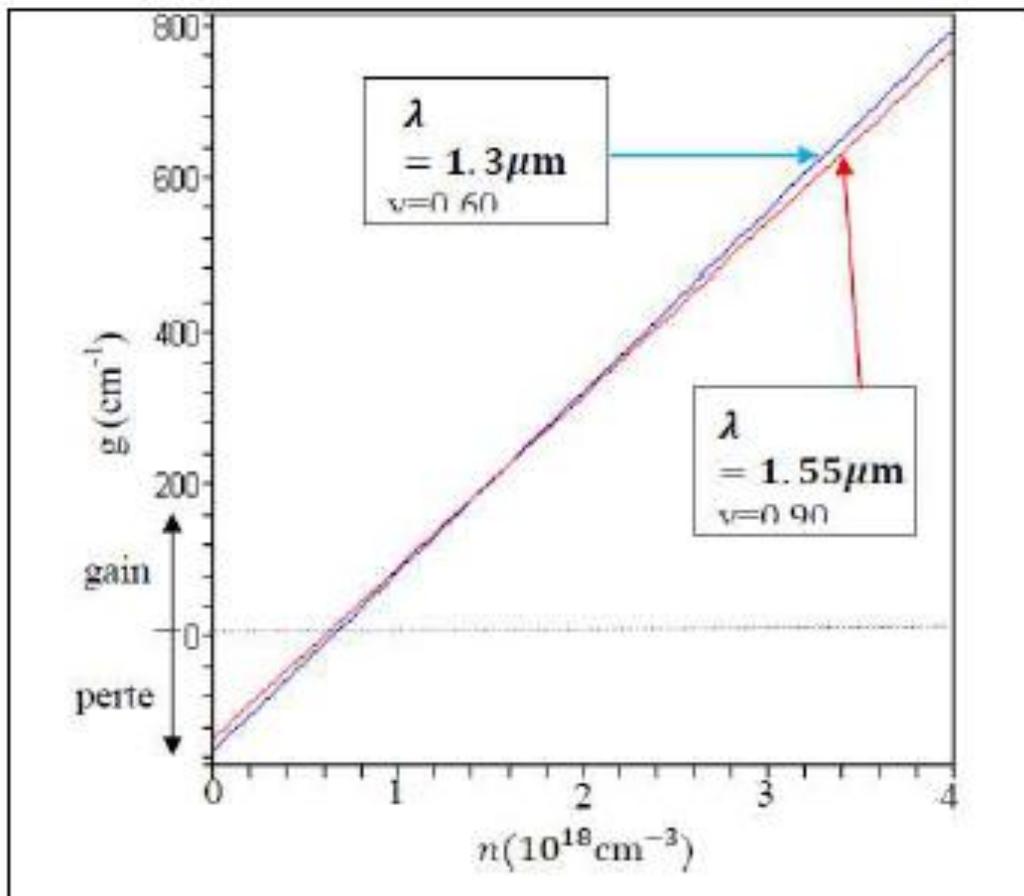


Figure I.7 : Courbes montrant la relation linéaire entre le gain et la densité de porteurs injectée dans la région active pour deux valeurs de la fraction molaire $y=0.60$ et $y=0.90$.

[13]

Nous remarquons que le gain varie linéairement avec la densité des porteurs injectés dans la région active.

I. 7 Conclusions

Le présent chapitre sert de rappel sur les concepts fondamentaux concernant les semi-conducteurs III-V, y compris les composés binaires, ternaires et quantiques, dans une structure cristalline. De plus, nous avons exploré les diagrammes de bande et divers paramètres physiques, tels que le gain optique, de matériaux tels que InGaAsP, InP GaAs et AlGaAs. Ces matériaux constituent la base pour la construction de diodes lasers.

Bibliographie – Introduction générale

[1] Pr. REBIAI-BENAHMED ,Saïda, COMPOSANTS OPTOELECTRONIQUES (studylibfr.com)

Bibliographie - Chapitre I

[1] DEHIMI Said << Etude de lasers à base des composés semi-conducteurs (InP, GaAs, GaP) >> mémoire de magister 2011, Université El-Hadj Lakhder – Batna

[2] BENZAIM OUSSAMA & BENYAHIA ZIAD HOUSSEM EDDINE << Etude de la conception d'une diode laser à base de matériau InGaN/GaN>> Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen , mémoire de master, 2022

[3] R. Castagné et all, Circuits Intégrés en arséniure de Gallium., Physique, technologie et règles de conception. Masson et Cinet ENST Paris, (1989).

[4] Henry Mathieu, Physique des semi-conducteurs et des composants électroniques, Masson, 1987.

[5] Gerald Bastard, Wave mechanics applied to semiconductor heterostructures, les éditions de physique, paris, 1988.

[6] C. Kittel .Introduction a la physique de l'état solide, Dunode (1972)

[7] J.S.Blakemore, Semiconducting and other major properties of galliumArsenide, J. Appl. phys. 53(10), October (1982).

[8] Thèse Alain Champagne, Modélisation des lasers InGaAsP-InP à double hétérostructure et à double region active, Thèse Ph.D., Université de Montréal, 1992.

[9] Adachi S., Material parameters of $\text{In}_{(1-x)}\text{Ga}_x\text{As}_y\text{P}_{(1-y)}$ and related binaries, J. Appl. Phys. Lett., Vol. 53, No. 12, pp. 8775-8792,1982.

[10] Agrawal G.P. and Dutta N.K., Long Wavelength Semiconductor Lasers, Van Nostrand Reinhold (Electrical/Computer Science and Engineering Service), New York, 1986.

Chapitre 01 : Généralités sur les matériaux semi-conducteurs III-V

- [11] John H. Davies, The physics of low-dimensional semiconductors, New York, Cambridge University Press, 1998.
- [12] Nahory R. E., Pollack M.A. and Jonhston W. D. Jr., Band Gap Versus Composition and Demonstration of Vegard's Law for $\text{In}_{(1-x)}\text{Ga}_x\text{As}_y\text{P}_{(1-y)}$ Lattice Matched to InP, Appl. Phys. Lett., Vol. 33, No. 7, pp. 659-661, 1978.
- [13] BOUBAAYA Nabil, << Etude ET Simulation Du Diode Laser à Base De Semi conducteurs III-V (InGaAsP-InP) >>, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA, 2016/217
- [14] Casey H.C. and Panich M.B., Heterostructure Lasers, Academic Press, New York, 1978.
- [15] Mamri Badreddine, « modélisation d'une cellule solaire à puits quantiques en GaAs/GaAlAs », université de Constantine, 2013/2014.
- [16] Mekfoudji Saliha, Ait Mebarek Toufik, << Etude et simulation de Laser à semi-conducteur à double hétérojonction GaAlAs/GaAs >>, Université SAAD DAHLAB de BLIDA, 2016/2017
- [17] Moussaoui Islam, étude par simulation des propriétés électriques des composants HEMTs à base d'hétérostructure AlGaAs/GaAs, université Djilali bounaama, 2014/2015.
- [18] Aouati Redha, « étude de l'interaction électron –matière des nanostructures de l'Arséniure de Gallium, université Mentouri Constantine, 2011.
- [19] Rosencher, E., Vinter, B.: 'Optoélectronique', Enseignement de la physique, Editions Masson, ISBN 2-225-82935-7, 2000.
- [20] E. Rosencher et B. Vinter, Optoélectronique , Editions , ISBN 2-225-82935-7, 2000., Masson:PARIS 1998, 2000

Chapitre II

Étude théorique des structures des diodes lasers

II.1 Introduction

Un laser est un faisceau lumineux cohérent monochromatique réalisé à travers un phénomène photonique. Un laser peut être utilisé dans diverses applications comme les fibres optiques en télécommunication et l'esthétique en médecine. [1] [2]

II.2 Historique

- En 1917, Albert Einstein fonde les premières notions sur le maser et le laser. OÙ, il avait publié un livre sur l'absorption et l'émission photonique de lumière (expliquer la différence entre l'émission spontanée et l'émission stimulée). [3]
 - Le premier maser à émission stimulée a été réalisé en 1954 par Townes, Gordon et Zeiger. [4]
 - Le premier maser amplificateur d'une géométrie de l'ordre du millimètre a été réalisé en 1957, par Prokhorov et Basov en Union soviétique.
 - Le laser à semi-conducteur a vu le jour en 1958 par Basov. [3]
 - Maiman a réalisé le premier oscillateur laser à cristaux rubis en 1960, au cours de la même année, Javan Benn. A fabriqué le laser à gaz [3]
 - Vers 1962 le laser semi-conducteur (diode laser) se réalise dans les laboratoires de General Electric, IBM et au MIT. [3]

II.3 L'effet laser

L'effet laser est un phénomène obtenu sur ce qu'on appelle l'inversion de population photoniques se faisant par excitation de la lumière (absorption et émission dans un matériau), nous parlons ici de pompage optique ou électrique). Lorsqu'un atome est excité, il émet un photon de fréquence $\nu = (E_2 - E_1)/h$ [5], résultant en une émission spontanée. En arrivant à un autre atome excité, ce photon déclenchera une émission stimulée, ou on aura deux photons identiques en phase et en fréquence.

Ces deux photons généreront alors deux émissions stimulées, alors deux nouveaux photons et ainsi de suite. Alors ils résultent dans le milieu une multiplication de photons identiques en phase d'où la création d'un faisceau lumineux. C'est l'effet laser, or (l'amplification de la radiation). [5].

- Les réactions photoniques se réalisent suivant trois phénomènes :

✚ Absorption inter bande

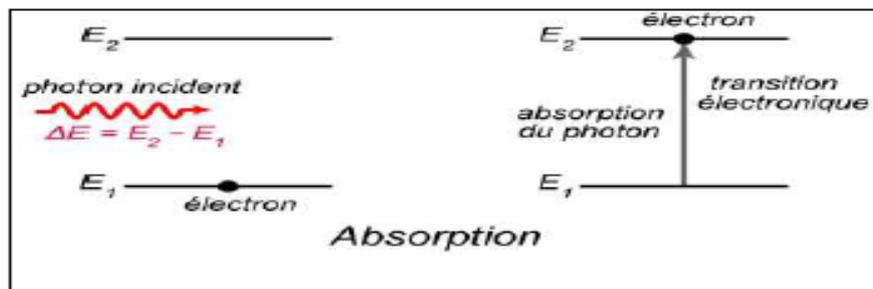


Figure II.1 : Schéma de l'absorption inter bande [4]

✚ Émission spontanée

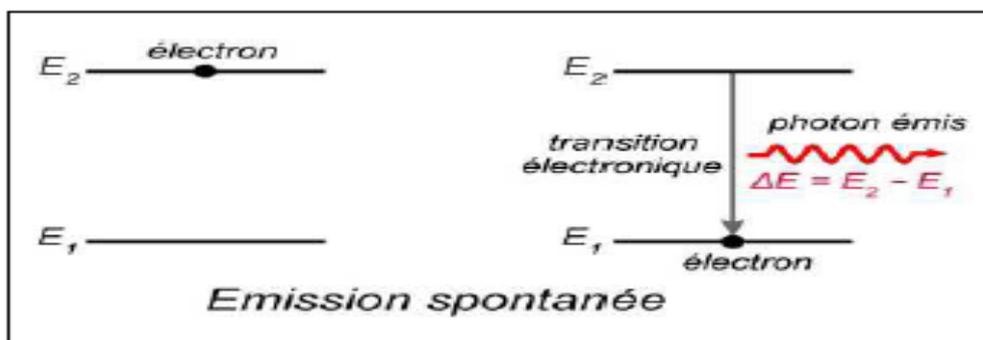


Figure II.2 : Schéma de l'émission spontanée [4]

✚ Emission stimulée

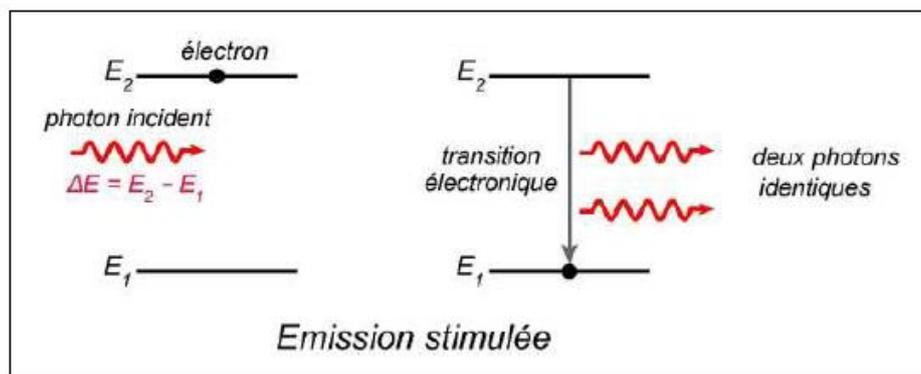


Figure II.3 : Schéma de l'émission stimulée [4]

II.4 Composition du laser :

Un laser est constitué de trois principales composantes : un milieu actif et un mécanisme de pompage et un résonateur optique. [6]. La figure II-4 montre un schéma démonstratif des composants du laser :

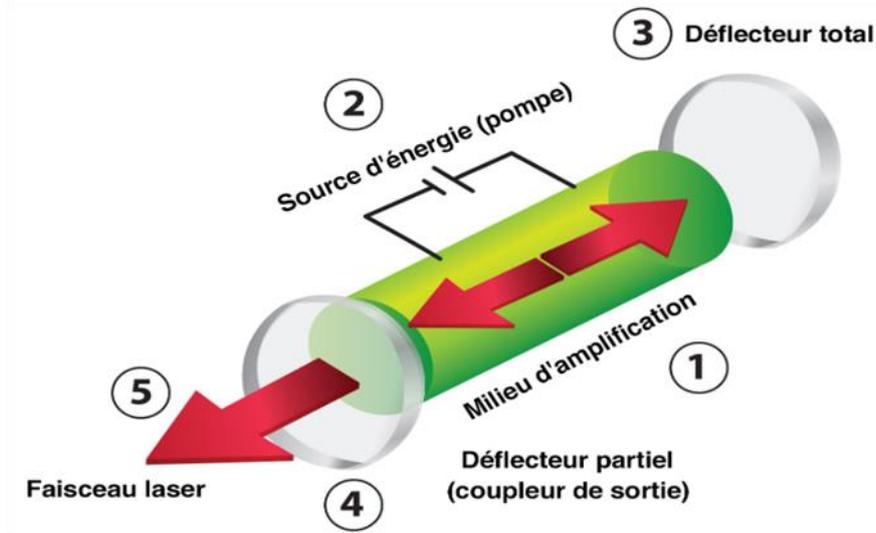


Figure II.4 : Schéma d'une diode laser [4]

- 1) Milieu excitable (milieu d'amplification radiative)
- 2) Source de pompage
- 3) Miroir totalement réfléchissant
- 4) Miroir semi réfléchissant
- 5) Faisceau laser

II.5 Rayonnement laser

Le rayonnement est une source lumineuse constituer à partir de l'accumulation d'un très grand nombre de photons produites entre deux surfaces réfléchissantes, autrement dit cavité résonnante. Le miroir semi réfléchissant sert comme bar de réflexion pour les photons émis en bout de laser, cette création de photons fonctionne comme une chaîne qui ne s'arrête pas. [7]

II.6 Caractéristiques d'un faisceau laser [7]

- ✚ C'est un faisceau monochromatique et cohérent c'est à dire les photons oscille suivant la même longueur d'onde)
- ✚ La directivité de la lumière laser est unidirectionnelle
- ✚ Le faisceau lumineux du laser a une faible divergence.

II.7 Principe de fonctionnement d'une diode laser [9]

Une diode laser crée une lumière intense quasi monochromatique de quelques mW à quelques centaines de mW), rayonnant à travers un chemin optique de plusieurs mètres.

Chapitre 02 : Étude théorique des structures des diodes lasers

Une diode Laser a l'aspect d'un parallélépipède rectangle constitué à partir de trois couches de matériaux semi-conducteur différents ou homogènes créons respectivement des hétérojonctions ou des jonctions entre couches la présence de deux faces perpendiculaire au, constituent un résonateur Fabry-Pérot. [9]

Ce résonateur produit la naissance de l'émission stimulée de photons qui est une caractéristique principale de l'émission Laser.

Pour assurer une émission laser continue et puissante à température ambiante, on s'oriente vers les structures complexes comme la double hétérojonction. Car la structure de diode laser à hétérojonctions ou à double hétérojonctions. Elle présente l'avantage de confiner les porteurs par une barrière de potentiel électrostatique dans un volume très réduit $V = L \cdot d \cdot s$ appelé zone active [9]. Ce confinement nous aide à obtenir pour un faible courant d'injection, une densité de porteurs élevée et par conséquent un gain élevé.

Dans la littérature la géométrie de la zone active, a une longueur $L \sim 100$ à $500 \mu\text{m}$, et le diamètre de la couche active $d \sim 0,1$ à $0,5 \mu\text{m}$, et la surface de la sortie lumineuse $s \sim 2$ à $5 \mu\text{m}$. [9]

Dans la pratique les lasers fonctionnent en mode impulsif. (Mais on peut obtenir des « rafales » tellement dense que la différence avec un mode continu est peu sensible). [9]

II.8 Les différents types des diodes laser

II.8.1 Diodes lasers à émission par la tranche

II.8.1.1 La diode laser Fabry-Pérot

Laser semi-conducteurs, ressemble à tous les autre forme de lasers, se base sur un milieu amplificateur (région active) naissance d'un gain optique et d'un résonateur optique créer par la cavité. Parmi les diodes laser on retrouve la diode laser Fabry-Pérot, dans cette diode la cavité résonnante est formée par les faces détériorées du côté de la structure. Le milieu amplificateur de gain intègre des nuitées qui réduisent considérablement les courants de seuil de fonctionnement et augmentent le rendement des systèmes. [10].

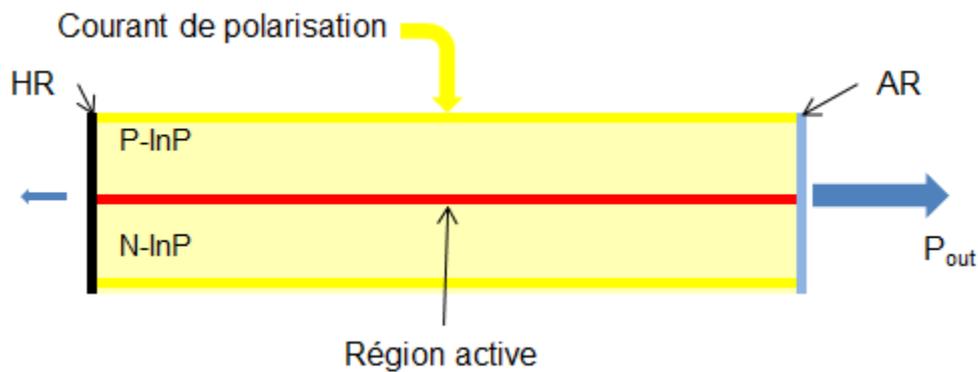


Figure II.5 : Laser Fabry-Pérot traité AR/HR [11]

II.8.1.2 La diode Distributed Bragg Reflector (DBR) et la diode Distributed Feedback DFB

La progression des recherches dans le domaine des dispositifs laser spécialement celle basée sur la structure des diodes lasers de type diodes Fabry Pérot ou leurs réseaux de diffraction a été gravé par modulation de l'indice de réfraction. Ce réseau de diffraction, également connu par l'appellation de miroir de Bragg ou si on va remplacer les miroirs dans la cavité de diode on construit la diode DBR ("Distributed Bragg Reflector") et si la diffraction distribuée le long de la zone active, en l'obtient les diodes DFB ("Distributed FeedBack") [12].

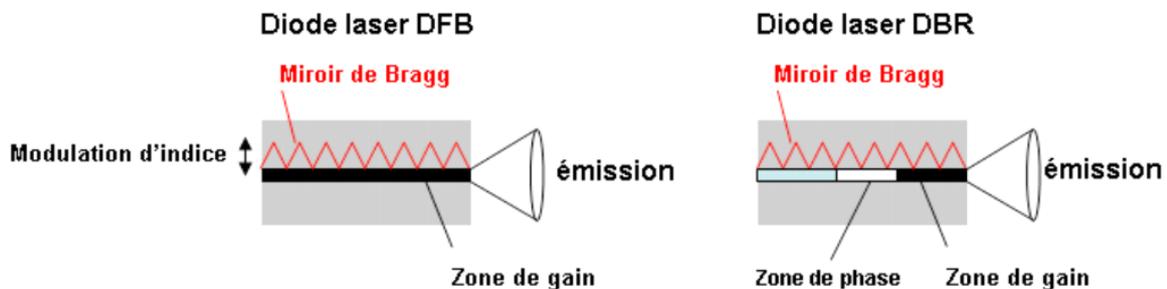


Figure II.6 : Schéma représentant une diode DFB et une diode DBR. [13]

II.8.1.3 Les lasers en cavité étendue

Le fait d'ajouter une cavité externe cela vas modifier les propriétés spectrales des lasers à semi-conducteurs [14].

Les lasers en cavité externe sont généralement les plus utilisés dans les assemblages optiques de physique atomique et de spectroscopie. Leurs applications pour dépistage le rendent indispensable surtout pour la détection des atomes dans les horloges atomiques. [13]

II.8.2 Diodes laser à émettant des rayons de surface : [13]

La diode VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting) ou les diodes laser à émettant des rayons de surface. Leurs fonctionnements se basent sur l'émission laser réalisé en fonction de l'axe de croissance (axe perpendiculaire) de la structure, par rapport au plan des couches épitaxiales. Ce genre de procédé appelé lasers à carie verticale et se caractérisent par un gain de couche active très mince entourée de miroirs Bragg très réfléchissants. Aussi le petit gain de ces structures sera composés pour garantir l'effet laser. [13]

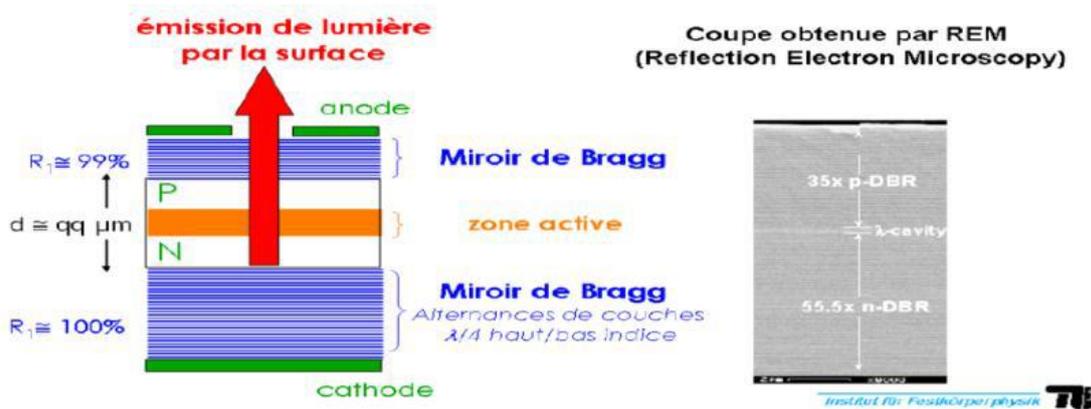


Figure 11.7: Schéma d'un VCSEL et photographie d'une pile [13]

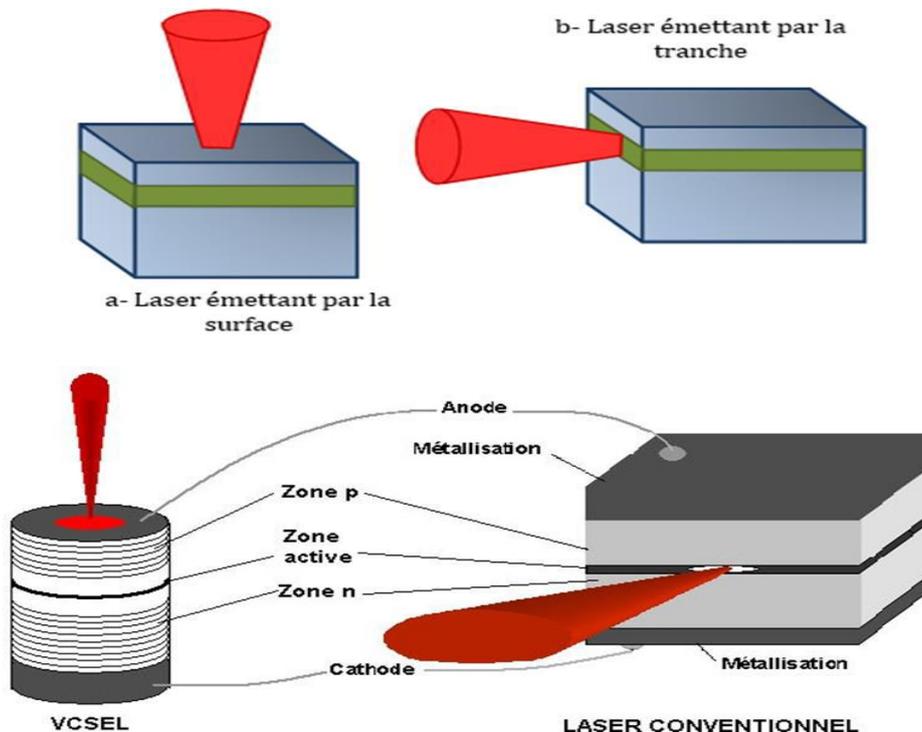


Figure II.8 : Schéma d'un laser classique par rapport à un laser à émission superficielle [15], [16], [17]

II.9 Diodes lasers à Semi-conducteur

La diode laser ou diode à semi-conducteur est l'objet de ce mémoire, c'est une diode électroluminescente qui exploite l'effet laser. [13]

Ce type de diode qui a été conçue au premier temps de création de diode a semi-conducteur par un empilement des couches aux mêmes matériaux c'est à dire des homo-jonction ensuite le développement a ouvert la porte vers les structures a hétérojonction et à celle des structures avec un puits quantique, (seront bien expliqués dans la ce qui suit). Pour aboutir à un rayonnement laser intense et efficace, il a fallu réduire le courant seuil à des valeurs inférieures au niveau auquel commence la dégradation thermique [13].

II.9.1 Diodes laser à homo-jonction

Diode laser a homojonction est fabriqué par une jonction P-N (juxtaposition entre semi-conducteurs de même matériau et dopage différent l'un de type p et l'autre de type n.

On polarise la jonction P-N par un courant électrique I , les porteurs de charge se déplacent des deux côtés de la jonction les électrons seront injectés dans la région P par diffusion et de même pour les électrons. Dans la zone active, nous disposons de recombinaisons radiatives des paires (électrons – trous).

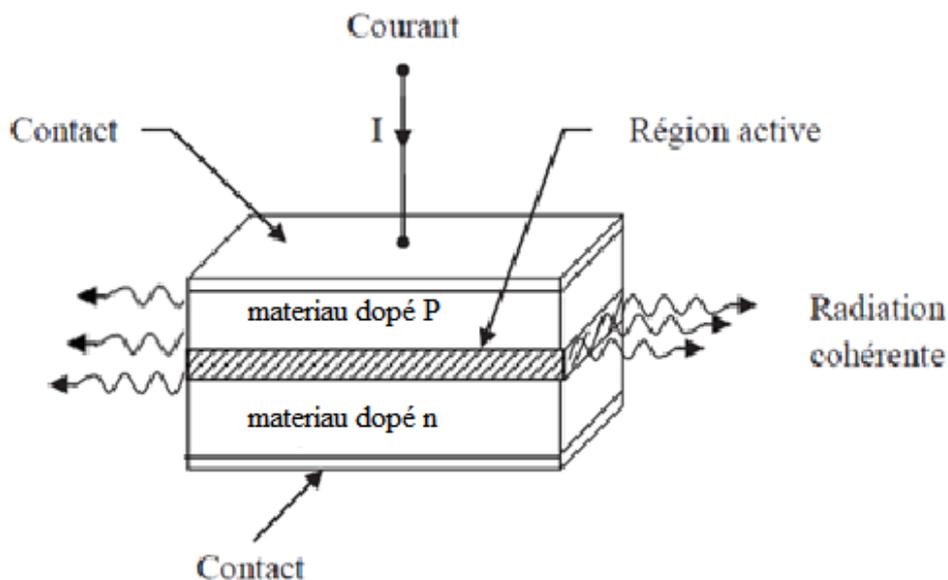


Figure II.9 : Structure à homojonction [18].

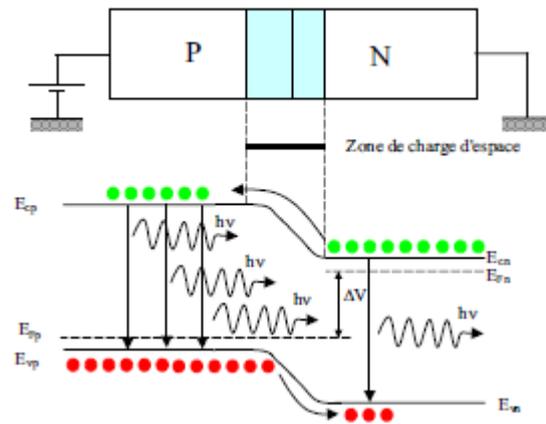


Figure II.10 : Diagramme des bandes d'énergie d'une structure homojonctionnelle [19].

Les diodes lasers à homojonction sont très utilisées mais leurs inconvénients se situent dans leurs densités qui est très limitée et que leurs courant de seuil est très élevé. Cela se traduit par un réchauffement qui influe sur le fonctionnement correct de ce genre de diode laser. L'une des solutions pour corriger cette inconvénient et d'amplifier la lumière pour augmenter le rendement du laser. [13].

II.9.2 Diode Laser à hétérojonction

Le même principe que la diode à homojonction mais leurs structures est construit à partir de deux matériaux différents, on dit que l'hétérojonction est isotype, si les deux semi-conducteurs dévoilent une conductivité du même type et anisotype si les deux semi-conducteurs sont dopés différemment. [20]

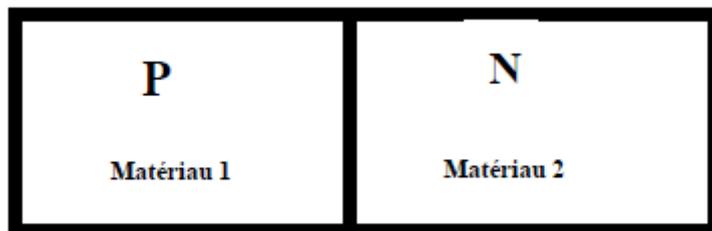


Figure II.11 : Structure à deux niveaux « hétérojonction ». [20]

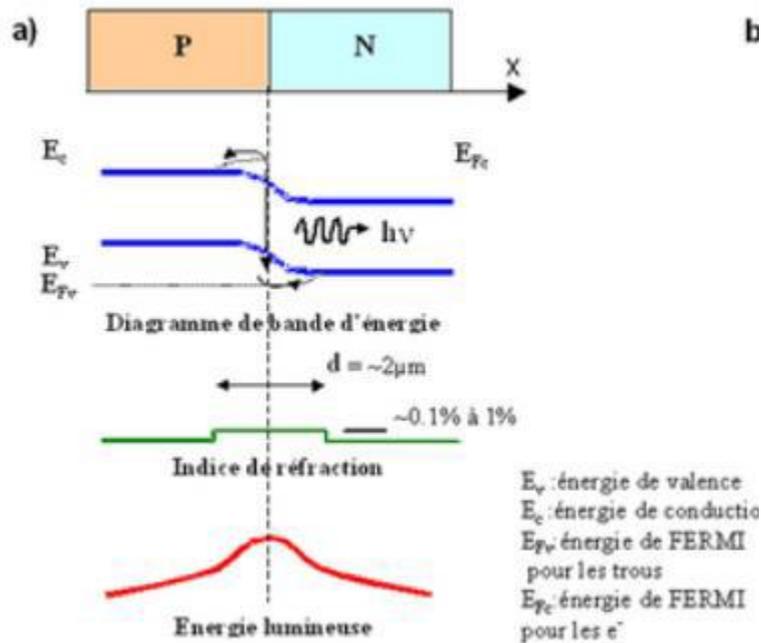


Figure II.12 : Diagramme des bandes d'énergie de la structure homojonction [2], [21].

II.9.2.1 Diode Laser à hétérojonction simple

L'épaisseur de la zone active influe directement sur le courant de seuil. Donc le seul moyen d'atteindre cet objectif est par l'augmentation de la barrière potentielle qui a pour rôle d'empêcher les électrons injectés d'entrer trop dans la zone P (confinement électronique) [19].

Une hétérojonction c'est la présence de deux matériaux différents sur les deux côtés de la jonction ou la création de deux bandes interdites de largeur différente, dont l'indice de réfraction est aussi différent. [19], et qui permet la conception de dispositifs optoélectroniques. Si la polarisation est en inverse la jonction est en sens direct, la discontinuité de la largeur de bande interdite à la jonction permet un confinement des porteurs de charge à l'interface.

Dou l'augmentation du taux de recombinaison, est par conséquent une propagation de la lumière dans le milieu où elle est moins réduite (à cause de la différence d'indice de réfraction entre les régions p et n. et une amélioration de gain optique de l'énergie rayonnée. [20]

II.9.2.2 Diode Laser à double hétérojonction

Ce type de diodes est construit à partir d'un empilement de couches (3 couches de différents matériaux semi-conducteurs). Au milieu est une couche active qui est placée entre deux couches d'un autre matériau [20]. Ces matériaux sont caractérisés par des indices de réfraction et des largeurs de bande interdite E_g différents qui crée l'effet optique. [20]

Le choix des deux semi-conducteurs est un paramètre important car il élimine les contraintes aux interfaces ce qui réduisant le rendement quantique.

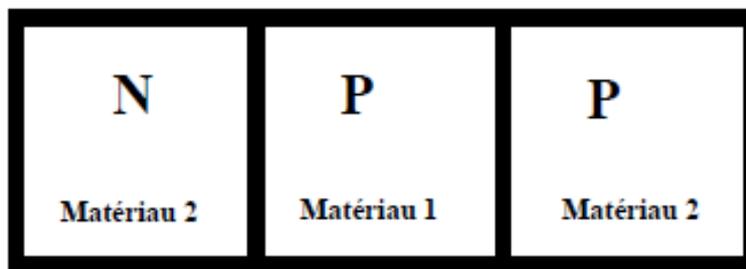


Figure II.13 : Structure à deux hétérojonctions. [22].

À une épaisseur inférieure à 10 nm de la zone active, on parlera d'un autre type de laser c'est le laser à puits quantique.

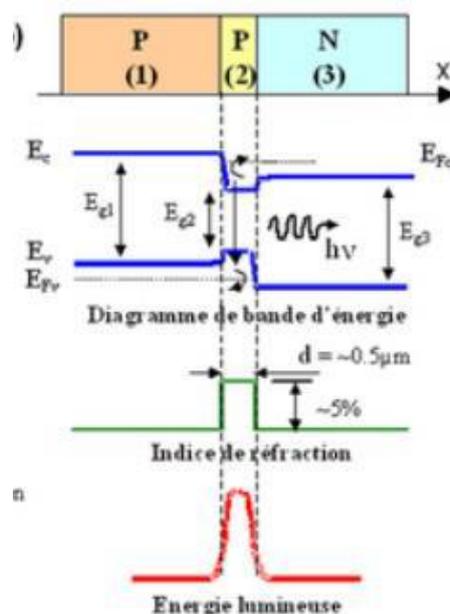


Figure II.14 : Diagramme de bandes d'énergies d'une Structure à deux hétérojonctions. [2], [21]

II.9.3 Diode Laser à puits quantiques

Un puits quantique simple se définit par une couche mince (quelques nanomètres) de matériau semi-conducteur entouré d'un matériau d'une épaisseur plus grande

- Les puits quantiques se divisent en trois types :

- Laser à puits quantiques de type I

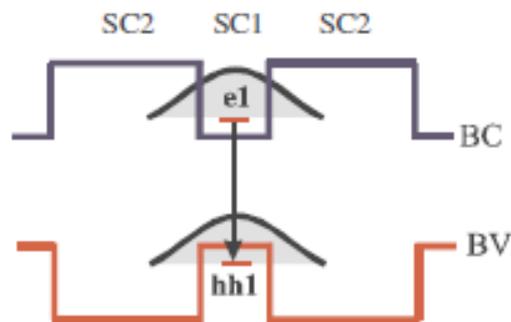


Figure II.15 : Profil de puits quantique de type 1. [23]

- Laser à puits quantiques de type II

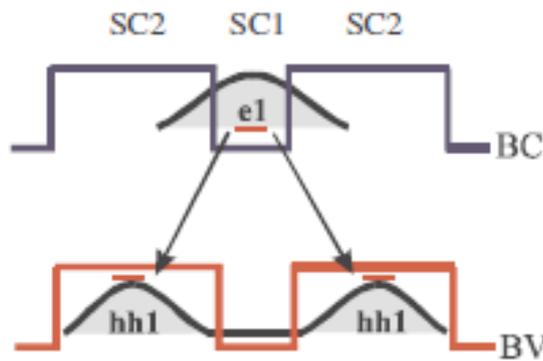


Figure II.16 : Profil de puits quantique de type 2. [23]

- Laser à puits quantiques de type III

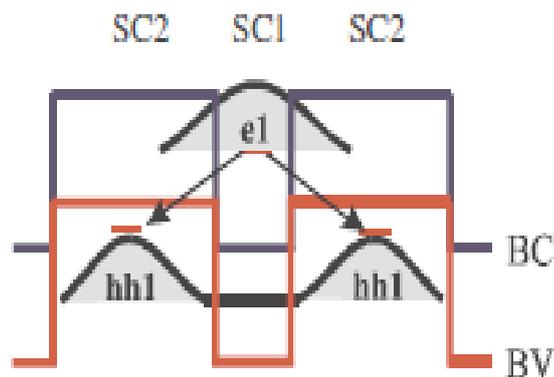


Figure II.17 : Profil de puits quantique de type 3. [23]

II.10 Applications des diodes lasers :

Les diodes laser sont utilisé dans plusieurs domaines, comme :

- Le laser est exploité dans les imprimantes laser (xérographie). [9]
- En médecine la diode laser est utilisée dans l'esthétique est aussi pour le traitement des cancers dans la chirurgie dentaire. Aussi pour la découpe et la coagulation directe de la gencive notamment aussi dans la minimisation des inflammations postopératoires [8].
- La diode laser est exploitée dans la fabrication des fibres optique en télécommunications, et dans la lecture et enregistrement de support optique numérique. Aussi dans la télédétection et les transmissions inter-satellitaires. [9]

II.11 Conclusions

Au cours de ce chapitre, nous avons rappelé les principales notions du laser, son effet, son rayonnement, ses caractéristiques et son principe de fonctionnement. Ensuite on s'est focalisé sur les différents types de diodes laser spécialement la diode laser a semi-conducteur objet de ce mémoire

Le chapitre suivant sera entièrement consacré à la modélisation de ce genre de diodes laser a semi-conducteurs (une diode laser InGaAsP / InP et une diode laser AlGaAs / GaAs). Par le logiciel de simulation atlas de Silvaco.

Bibliographie - Chapitre II

- [1] B. Amana, CH. Richter et O. Heckmann « Laser à semi-conducteur (diode laser) ». Cours de l'Université de Cergy-Pontoise Master 1 Physique,
- [2] BENZAIM OUSSAMA & BENYAHIA ZIAD HOUSSEM EDDINE << Etude de la conception d'une diode laser à base de matériau InGaN/GaN>> Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen , mémoire de master, 2022
- [3] DEHIMI Said, « Etude de lasers à base des composés semi-conducteurs (InP, GaAs, GaP) » mémoire de magister 2011, Université El-Hadj Lakhder – Batna
- [4] BOUBAAYA Nabil, « Etude et simulation du diode laser à base de semi-conducteurs III-V (InGaAsP – InP) », Mémoire Master 2017, Université Mohamed Boudiaf - M'SILA
- [5] ROMAIN MACIEJKO, Optoélectronique, Montréal, Presse internationale Polytechnique, 2002.
- [6] D. Dangoisse, D. Hennequin et V. Zehnlé-Dhaoui, Les lasers, Dunod, 2004.
- [7] R. Dändliker, les lasers, principe et fonctionnement, Lausanne, Presses.
- [8] Mark Csele, FUNDAMENTALS OF LIGHT SOURCES AND.
- [9] Luc Dettwiller, Les lasers et leurs applications, Paris, ellipses, 1998.
- [10] Semiconductor Laser", Kluwer Academic, 2nd ed. (1993).
- [11] Cécil PHAM « Sources laser de puissance à semi-conducteurs 1,55micro-m pour transmission en espace libre et applications LIDAR » thèse de doctorat, université Toulouse, 2019
- [12] "High power DFB lasers for D1 and D2 caesium absorption spectroscopy and atomic clocks", A.Klehr , H. Wenzel, O. Brox, F.Bugge, G. Erbert, T-P. Nguyen and G. Tränkle, Proc. of SPIE, 6909, 69091E, (2008).
- [13] KLOUCH Nawel Etude d'une structure laser à semi conducteurs pour application dermatologique Université d'Oran des Sciences et de la Technologie (USTO-MB) THESE de doctorat LMD en physique **2015**
- [14] "Spectral Characteristics of External-Cavity Controlled Semiconductor Lasers" Fleming M., Mooradian A., IEEE Journal of Quantum electronics, 17, No. 1 (1981).
- [15] Drahmoune Yanis Badri, Fezoui AbdelKader « Analyse et conception d'une diode laser VCSEL exploitée dans la troisième fenêtre des transmissions optiques » mémoire de master 2022, Université Abderrahmane Mira de Bejaia

Chapitre 02 : Étude théorique des structures des diodes lasers

- [16] G. Margarita, "Étude et réalisation d'un oscillateur opto-microonde à base de VCSEL pour la génération harmonique de signaux microondes", (Thèse), Optoélectronique et hyperfréquence, Université de Toulouse, France, 2008.
- [17] A. Rissons. "Caractérisation et modélisation optoélectronique des diodes laser à cavité verticale émettant par la surface", (Thèse), Optoélectronique et hyperfréquence, Université de Toulouse, France, 2003.
- [18] Haichour Nawel, étude de nanostructures laser à base de ZnS/ZnSe/ZnTe/CdZnSe/CdTe, université d'Oran, 2012.
- [19] éléments sur les semi-conducteurs, Jonction PN au Silicium effet transistor bipolaire.
- [20] Mekfoudji Saliha, Ait Mebarek Toufik, << Etude et simulation de Laser à semi-conducteur à double hétérojonction GaAlAs/GaAs >>, Université SAAD DAHLAB de BLIDA, 2016/2017
- [21] http://www.optique-ingenieur.org/fr/cours/OPI_fr_M05_C02/co/Contenu_04.html
- [22] Ammi Sofiane, « étude d'un guide de lumière à deux dimensions, application aux diodes laser », mémoire magister 2001, université de Blida
- [23] Selmane Djamel, modélisation et optimisation des lasers à puits quantiques à base des hétérostructures de l'ordre de l'angströms, université Hassiba Benbouali Chlef, 2009.
- [24] MEMOIRE << Licence en génie biomédicale par MAKNESSI Asma et HAFDHI Hajer, réalisation et caractérisation d'un contrôleur de température pour une diode laser, Tunis, 2010.

Chapitre III

Simulation et

Interprétation des

Résultats

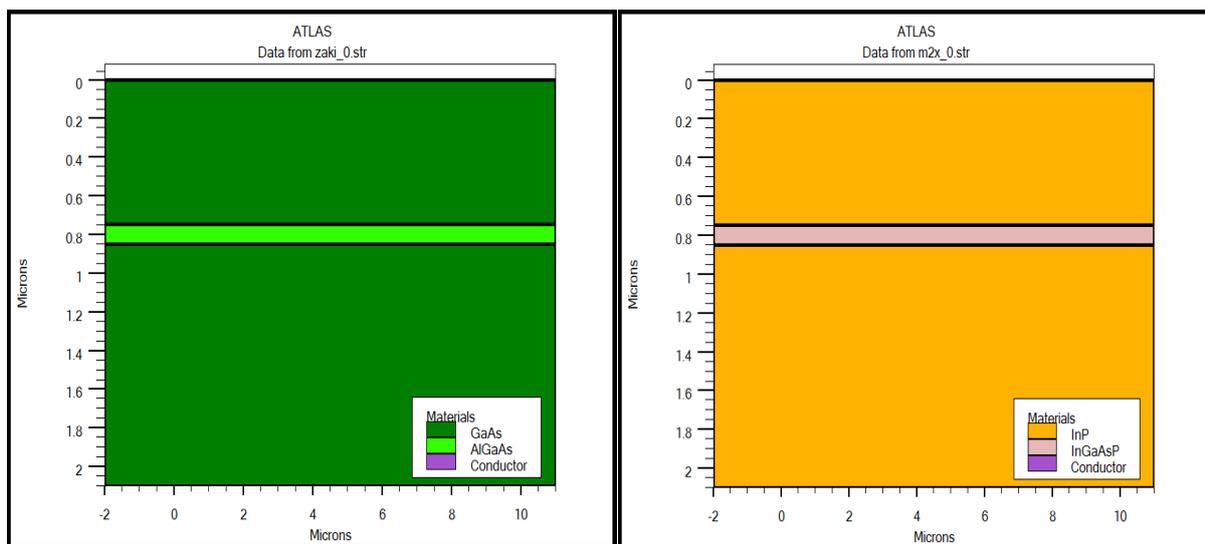
III.1 Introduction

Nous présentons dans ce troisième chapitre les résultats de simulation que nous avons obtenus sur la simulation des deux diodes laser à l'aide de logiciel Silvaco Atlas.

III.2 Constitution et simulation des structures des diodes lasers

Dans ce travail nous avons simulé les caractéristiques électriques et optiques d'une diode laser en (InGaAsP/ InP) base sur une structure a hétérojonction dont la couche active est, de type N et d'épaisseur de l'ordre de 0.1 μm . Située entre deux couches de InP dopées respectivement P et N. cette couche confine dans la région active, à la fois les électrons et les photons.

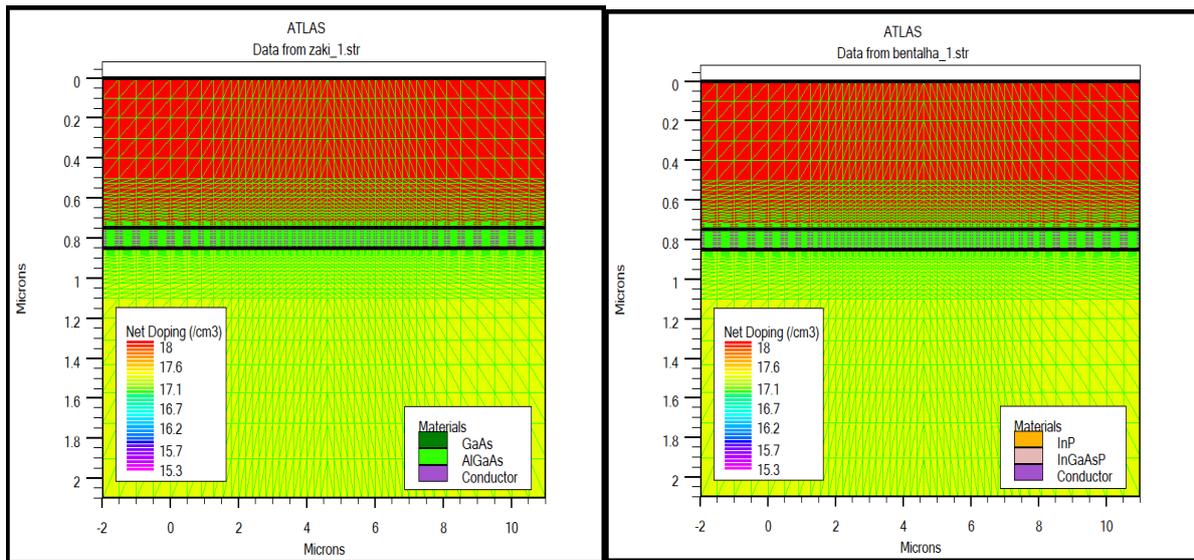
Le choix des valeurs et des paramètres géométriques et physiques joue un rôle très important dans le processus de fabrication de ce genre de composants optoélectroniques, notamment les paramètres comme le dopage, la température, définissent le comportement électrique du composant. Pour bien comprendre l'influence de ces paramètres sur le comportement de la diode laser à semi-conducteur et pour mieux comprendre le fonctionnement des diodes laser nous avons reconstitué une autre structure de matériaux différents diode à base de AlGaAs/ GaAs avec même dimension pour faire une comparaison, et de là nous avons étudié les caractéristiques des deux diodes. Nous avons utilisé au cours de cette étude le logiciel de simulation atlas de Silvaco



(a) : Diode laser AlGaAs/ GaAs

(b) : Diode laser InGaAsP/ InP

Figure III.1 : Structures des deux diodes lasers étudiées



(a) : Diode laser AlGaAs/ GaAs

(b) : Diode laser InGaAsP/ InP

Figure III.2 : Maillage des deux diodes lasers étudiées

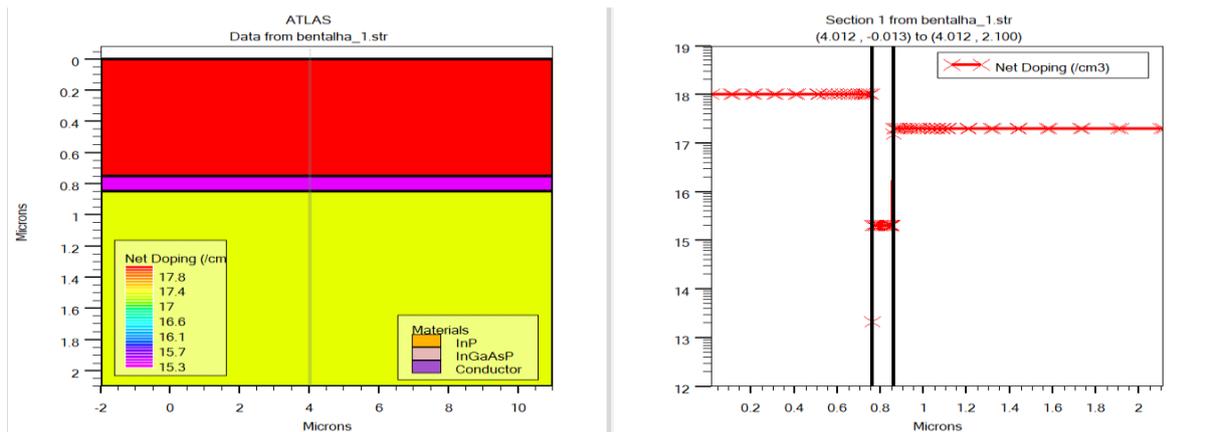


Figure III.3 : Dopage net de la diode laser InGaAsP/ InP

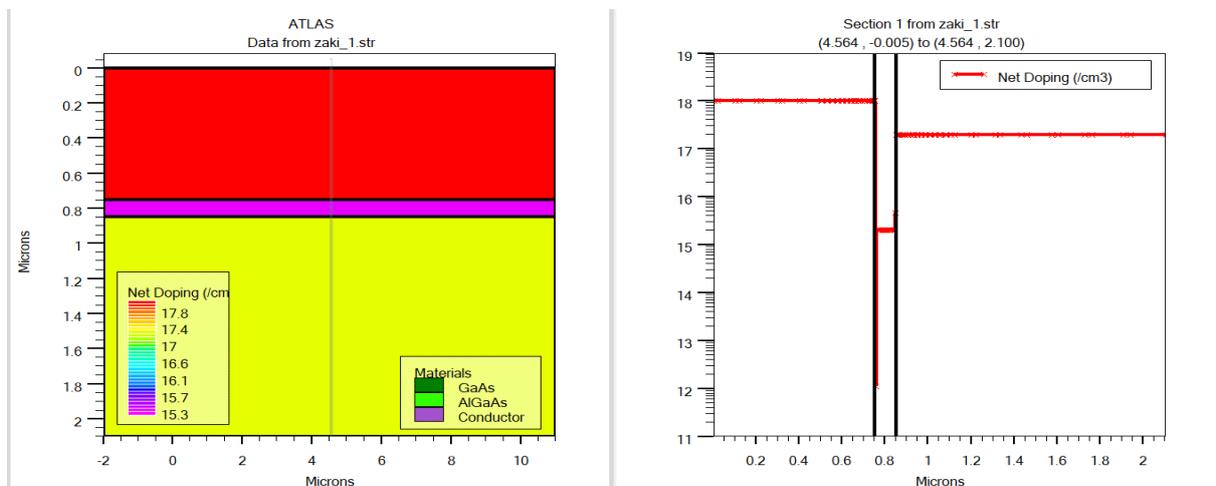


Figure III.4 : Dopage net de la diode laser AlGaAs/ GaAs

III.3 Étude de l'influence des paramètres géométriques et physiques sur les deux structures InGaAsP/ InP et AlGaAs/ GaAs

III.3.1 Intensité optique

L'intensité optique exprime le nombre de photons crée propagent dans la même direction. Les figures III.5 et III.6 représente l'intensité optique.

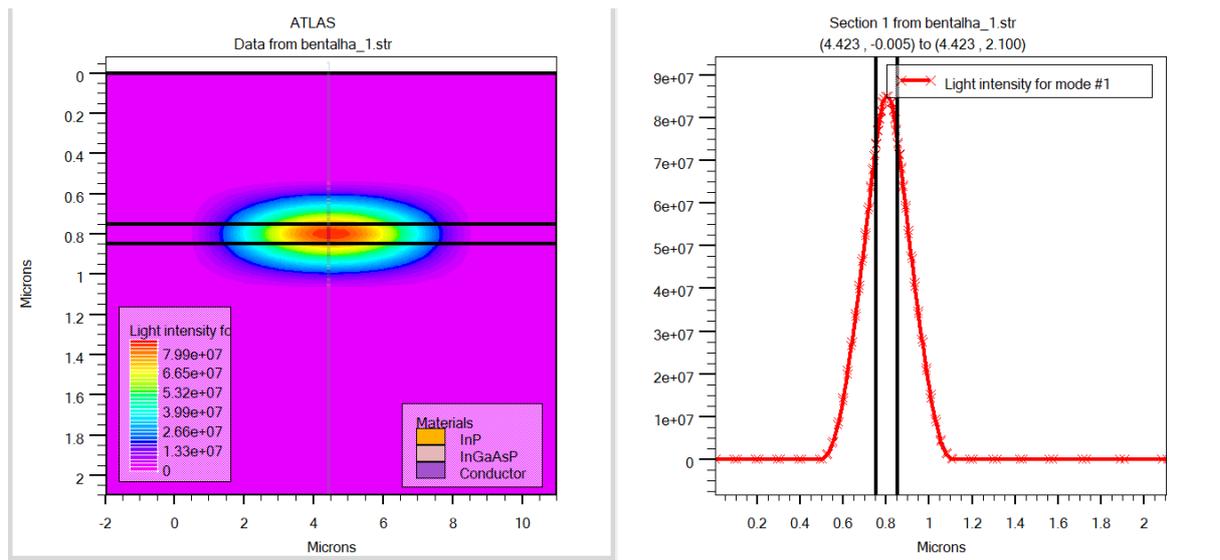


Figure III. 5 : Intensité optique dans la diode laser InGaAsP/ InP

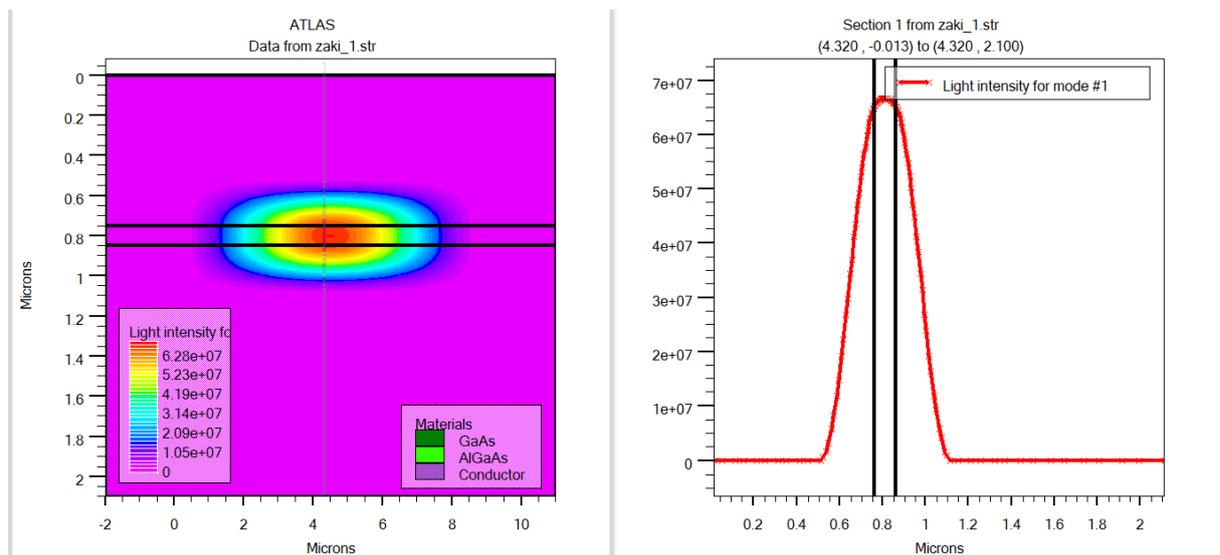


Figure III. 6 : Intensité optique dans la diode laser AlGaAs/ GaAs

On constat que dans région active, l'intensité optique devient maximale, elle est de l'ordre de $8 \cdot 10^7$ dans la diode laser InGaAsP/ InP et $6.58 \cdot 10^7$ dans la diode laser AlGaAs/ GaAs.

A l'extérieur (couches de confinement (InP ou GaAs) de la région active l'intensité optique devient minimale.

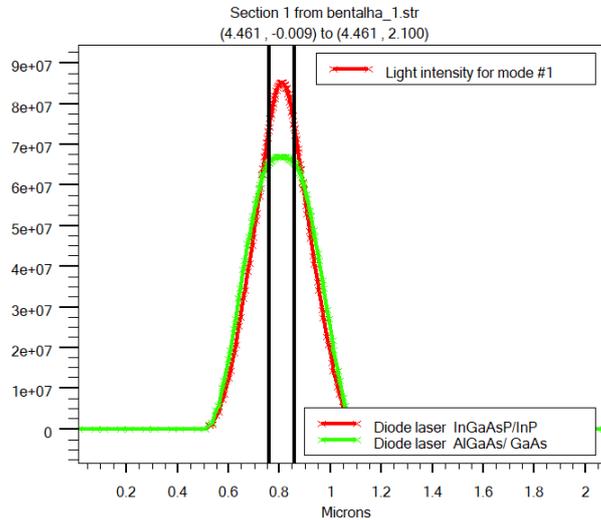


Figure III. 7 : Comparaison de l'intensité optique dans les deux diodes laser étudiés.

Sur la figure III.7 nous avons remarqué que la valeur de l'intensité de la diode laser InGaAsP/ InP (8.10^7) est plus grand que la valeur de l'intensité de la diode laser AlGaAs/ GaAs ($6,5.10^7$)

III.3.2 Champ électrique

Les figure III.8 et III.9 présente la distribution du champ électrique dans la région active des deux diodes lasers à semi-conducteurs. Le pic du champ électrique se trouve toujours dans les régions active.

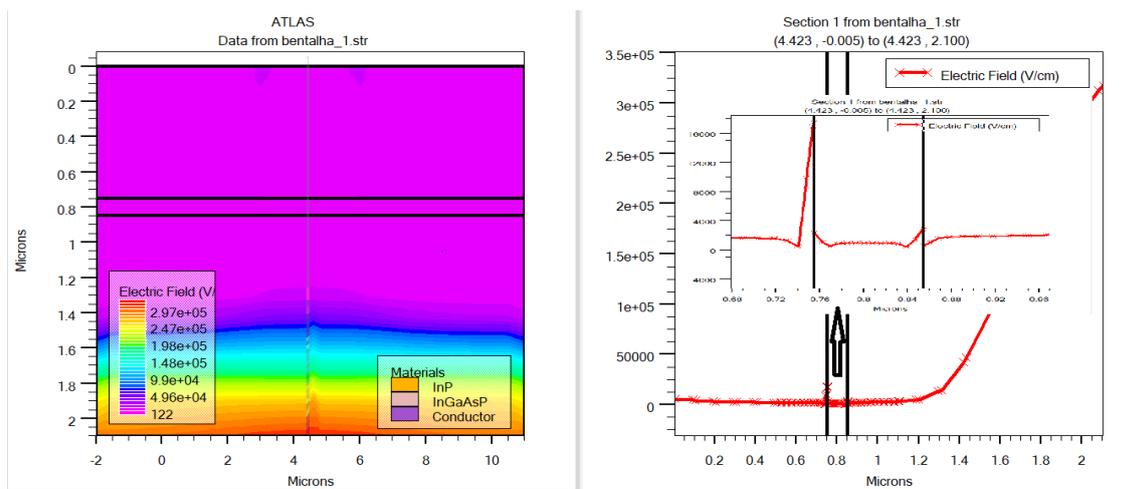


Figure III. 8 : Distribution du champ électrique dans la région active de la diode laser InGaAsP/ InP.

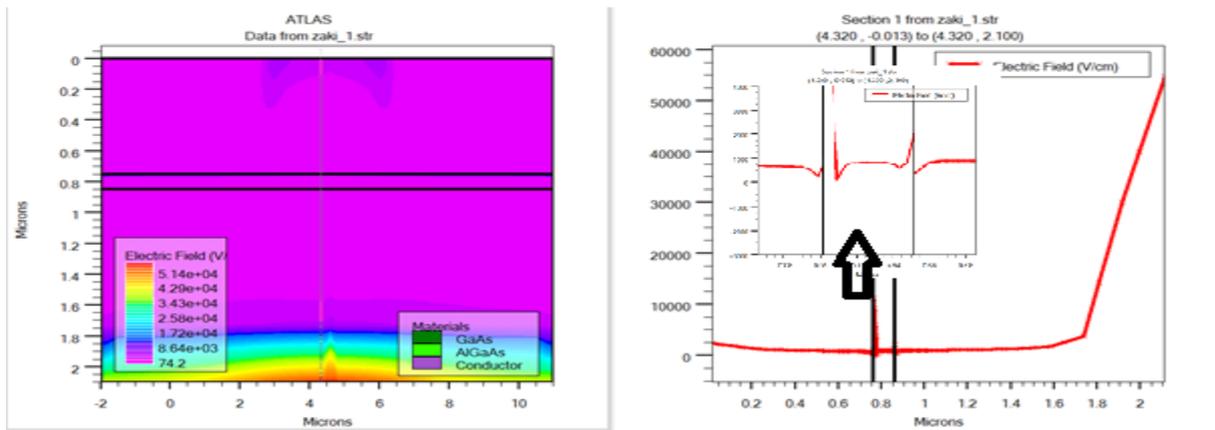


Figure III. 9 : Distribution du champ électrique dans la région active de la diode laser AlGaAs/ GaAs.

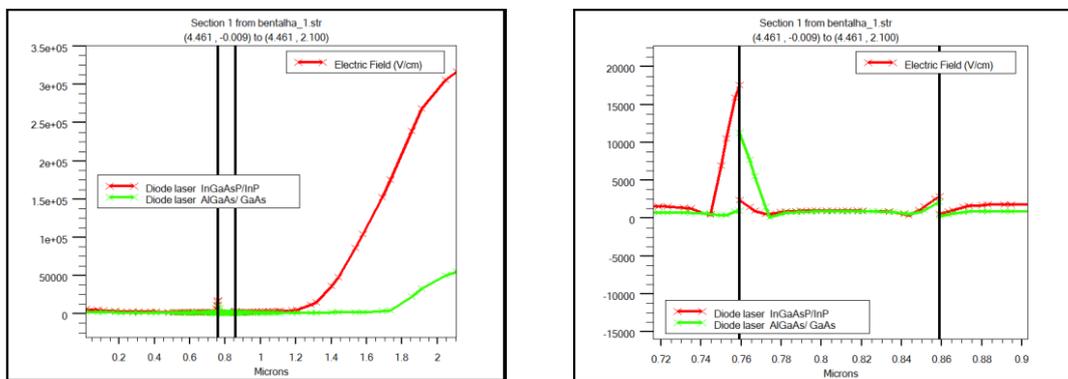


Figure III. 10 : Comparaison de la distribution de champ électrique dans les deux diodes laser étudiés.

La figure III.10 représente le champ électrique dans la région active de la diode laser InGaAsP/ InP et la diode laser AlGaAs/ GaAs. On note en particulier que le pic du champ électrique se trouve aux :

- Pour le cas de la structure InGaAsP/ InP , il est de l'ordre de $18 \cdot 10^3$ V/cm.
- Pour le cas de la structure AlGaAs/ GaAs, il est de l'ordre de $12 \cdot 10^3$ V/cm.

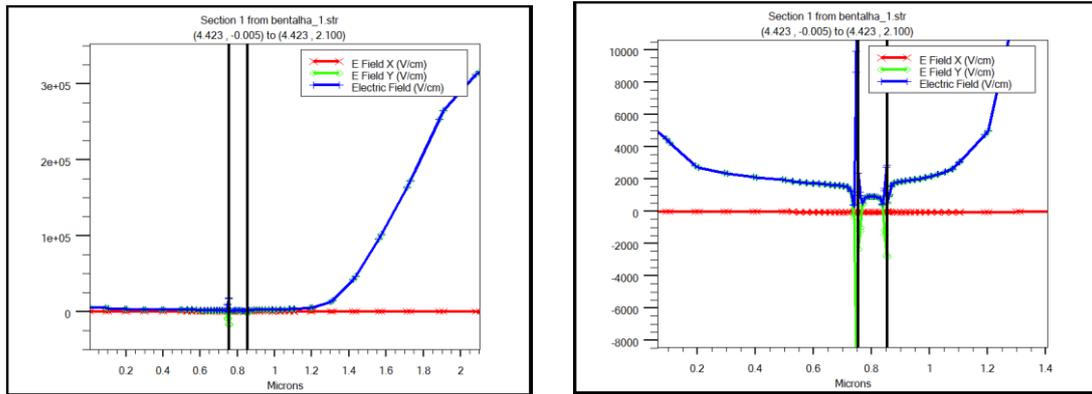


Figure III. 11 : Distribution du champ électrique dans la région active de la diode laser InGaAsP/ InP avec les directions (X et Y).

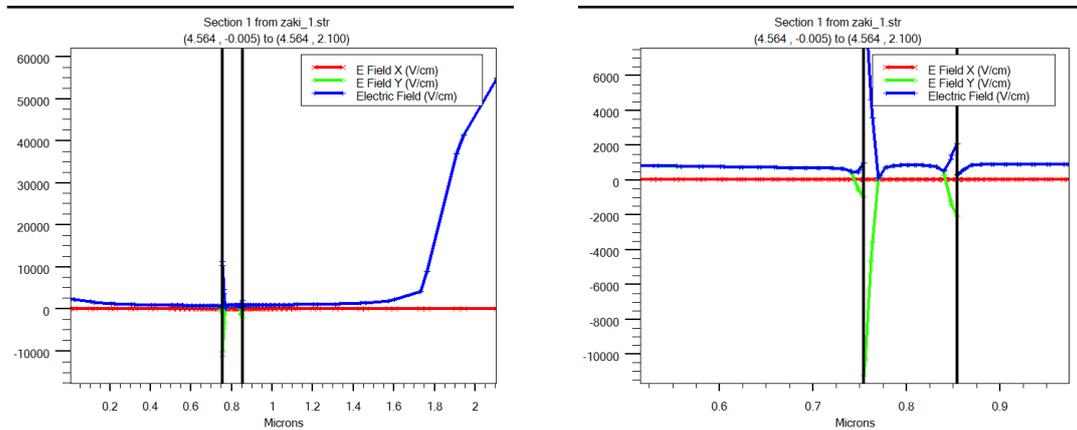


Figure III. 12 : Distribution du champ électrique dans la région active de la diode laser AlGaAs/ GaAs avec les directions (X et Y).

Selon les figures III.11 et III.12 on remarque que la distribution du champ électrique de la diode laser dans la direction X est l'inverse de la distribution du champ électrique de la diode laser dans la direction Y

III.3.3 Diagramme des bandes d'énergie

La figure III.13 représente les diagrammes des bandes d'énergie de la diode laser AlGaAs/ GaAs et de la diode laser InGaAsP/ InP.

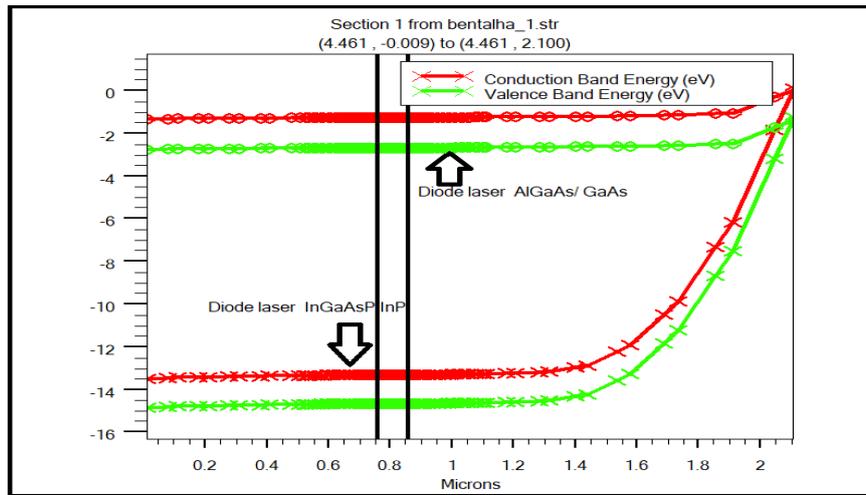
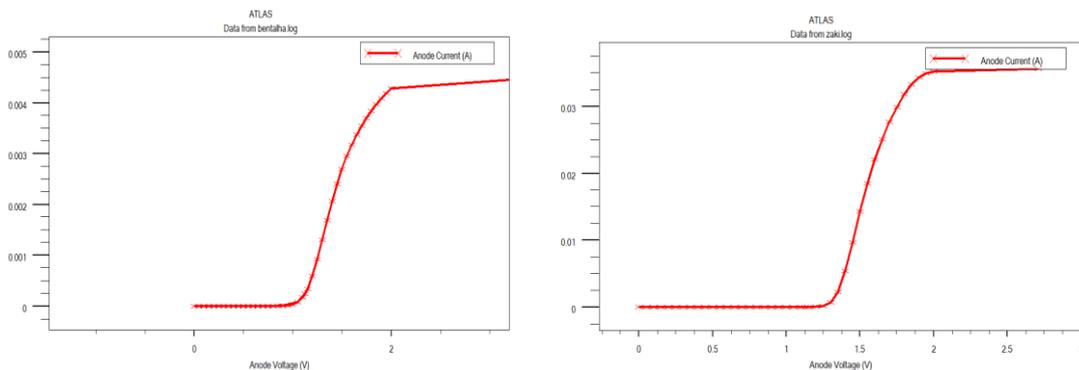


Figure III. 13 : Diagramme de bande d'énergie pour les deux diodes laser étudiées

On constate une discontinuité des bandes de conduction à l'interface InGaAsP/ InP et à l'interface InGaAsP/ InP, ainsi, les bandes de conduction et de valence sont séparées par une bande interdite. Cette région interdite est appelée « gap » à cause de l'hétérojonction.

III.3.4 Caractéristique courant-tension (I-V) :

La figure III.14 présente la variation du courant en fonction de la tension. On remarque que le courant augmente significativement après qu'il atteigne une tension de seuil d'environ 1.1 V pour la diode laser InGaAsP/ InP et 1.25 V pour la diode laser AlGaAs/ GaAs.



A) de la diode laser InGaAsP/ InP

B) diode laser AlGaAs/ GaAs

Figure III. 14 : Caractéristique courant-tension des deux diodes lasers étudiées.

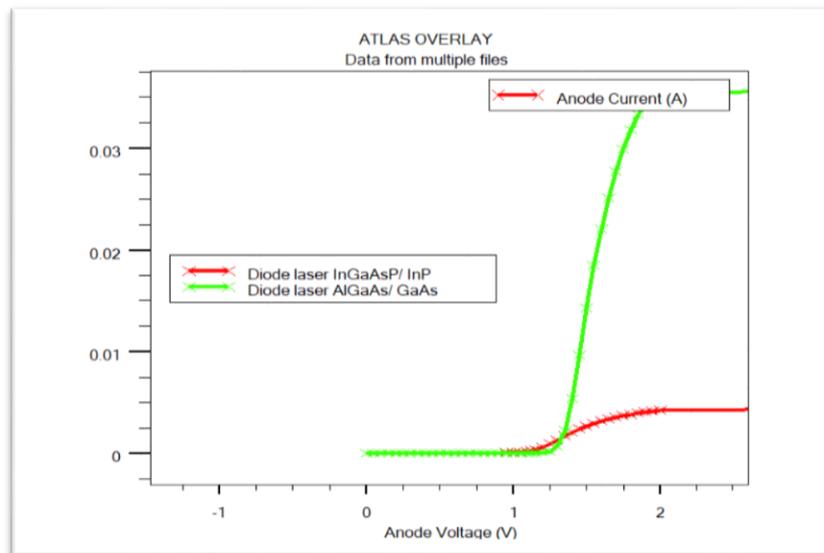


Figure III. 15 : Comparaison des caractéristiques courant-tension des deux diodes lasers étudiées.

D'après la figure III.15 on remarque deux états. Le premier où la diode est absorbante c'est à dire les photons seront absorbés par d'autres particules et un autre état de l'émission stimulée où la caractéristique est proportionnelle avec l'intensité du courant électrique pour les deux diodes la diode AlGaAs/ GaAs et la diode de InGaAsP/ InP. Donc la diode AlGaAs/ GaAs résiste à des courants élevés jusqu'à (5 mA)

III.3.5 Caractéristiques puissance-tension (P-V) et puissance-courant (P-I)

La figure III.16 la variation de la puissance totale émise qui représente le courant d'injection. Pour les deux structures (la diode laser AlGaAs/ GaAs $V_{\text{seuil}} = 1.25 \text{ V}$ et $V_{\text{seuil}} = 1.1 \text{ V}$ et pour la diode laser InGaAsP/ InP). La lumière émise varie linéairement avec le courant et la tension de polarisation au-delà de la valeur de seuil ceci est expliqué par le fait que le nombre de porteurs est grand pour émettre les photons stimulés.

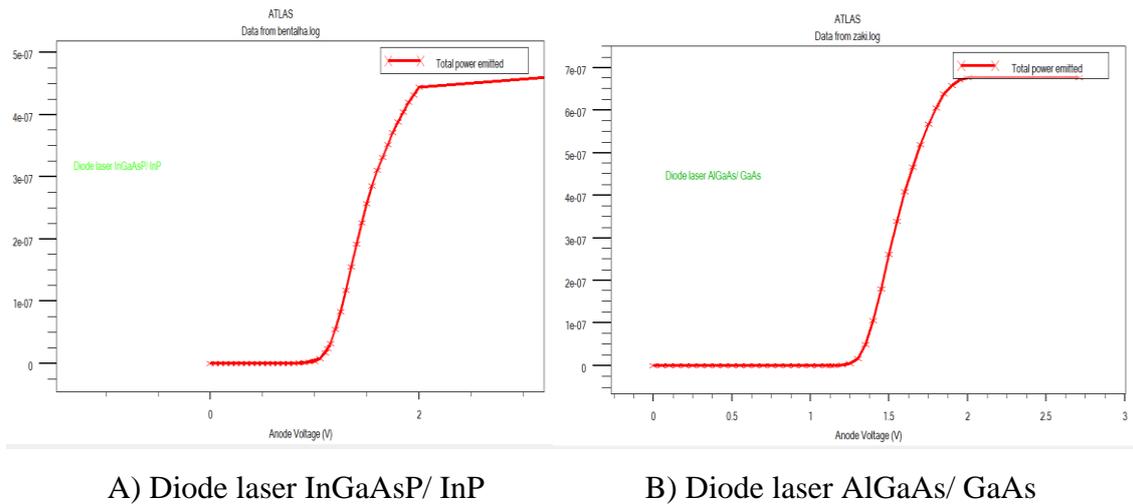


Figure III. 16 : Caractéristique puissance -tension des deux diodes lasers étudiées.

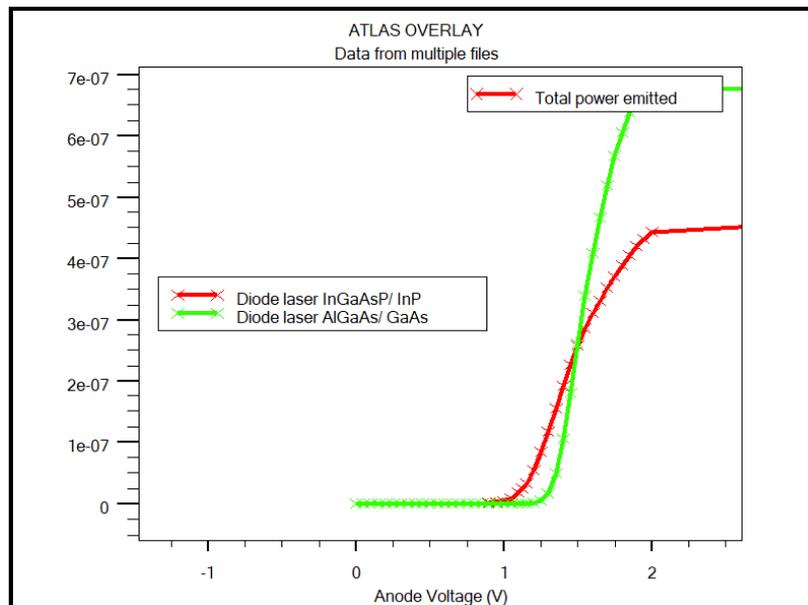


Figure III. 17 : Comparaison des caractéristiques puissance-tension des deux diodes lasers étudiées.

D'après la figure III.17 on observe que la diode AlGaAs/ GaAs émet une puissance plus grande que la puissance émis par la diode InGaAsP/ InP.

La figure III. 18 présente une comparaison des caractéristiques puissance-courant des deux diodes lasers étudiées.

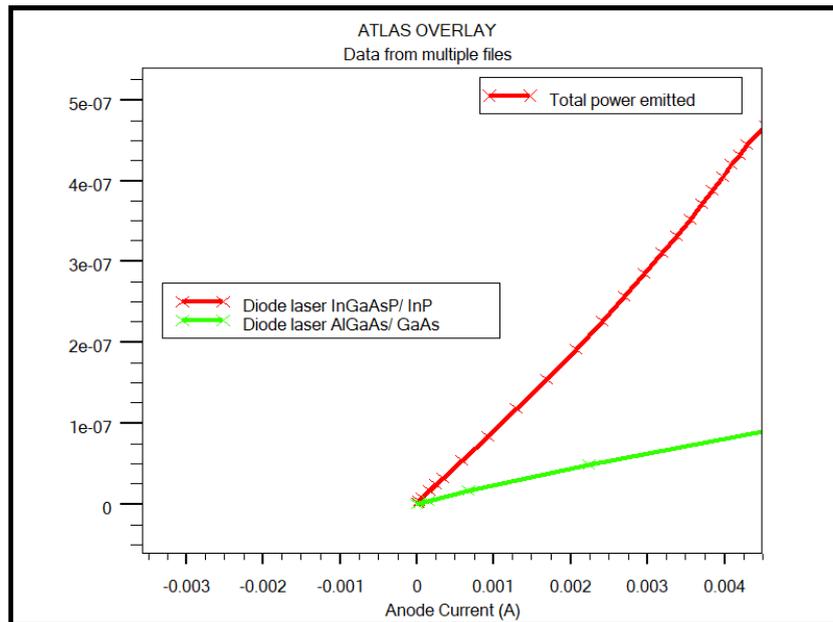


Figure III. 18 : Comparaison des caractéristiques puissance-courant des deux diodes lasers étudiées.

D'après la figure III.18, On aperçoit qu'il existe une relation linéaire entre le courant et la puissance de manière que le courant augmente avec l'augmentation de la puissance ; et la diode InGaAsP/ InP émise une puissance totale (P-I) très grand par rapport a la puissance émis par la diode AlGaAs/ GaAs

Les figures III.19 et III.20 représentent respectivement les indices de réfractions Re et Im de la diode laser AlGaAs/ GaAs et la diode laser InGaAsP/ InP

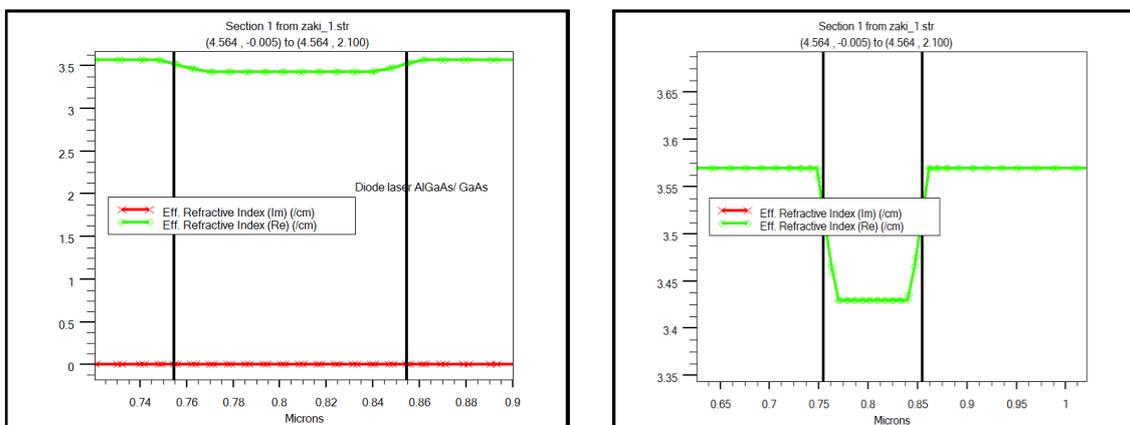


Figure III. 19 : Les indices de réfractions Re et Im de la diode laser AlGaAs/ GaAs

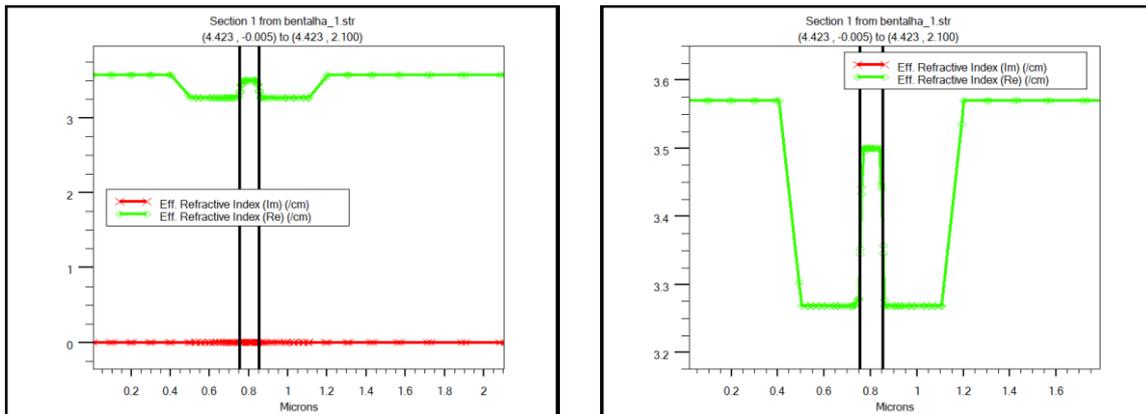


Figure III. 20 : Les indices de réfractions Re et Im de la diode laser InGaAsP/ InP

La figure III.21 montre la variation de recombinaisons dans les deux structures ,la diode laser AlGaAs/ GaAs et de la diode laser InGaAsP/ InP.

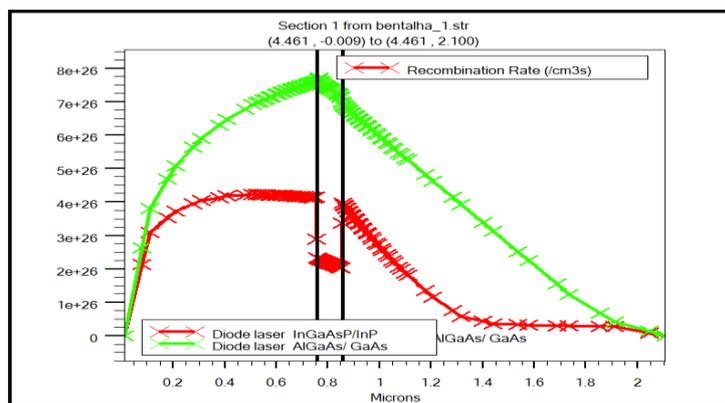
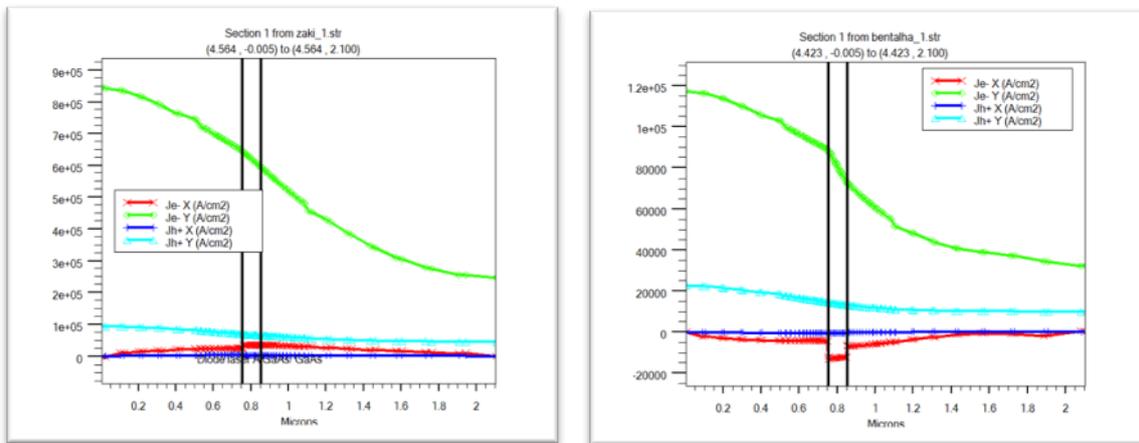


Figure III. 21 : Comparaison des recombinaisons caractéristiques des deux diodes étudiées

L'explication de cette caractéristique est en absence d'excitation externe (polarisation ou a une faible excitation), la densité de porteurs qui atteint la région active sera faible, donc insuffisante pour l'émission LASER. Par d'autre part, lorsque la diode laser est polarisée en direct les on aura une inversion de populations ce qui explique l'augmentation dans cette zone.

La figure III.22 montre respectivement les caractéristiques des concentrations des porteurs de la diode laser AlGaAs/ GaAs et de la diode laser InGaAsP/ InP.

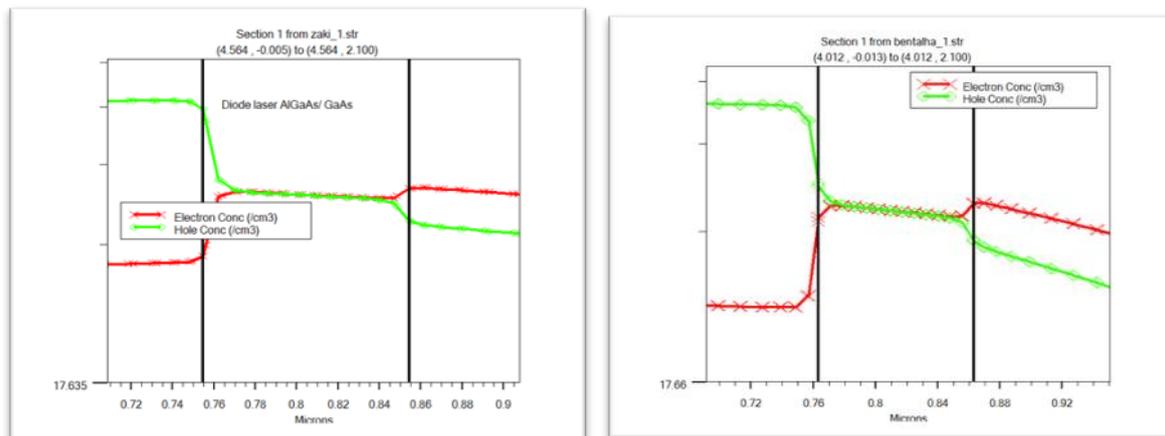


(a) : Diode laser AlGaAs/ GaAs

(b) : Diode laser InGaAsP/ InP

Figure III. 22 : Caractéristiques des Concentrations des porteurs

La figure III.23 Caractéristiques des Concentrations des électrons et des trous de la diode laser AlGaAs/ GaAs et de la diode laser InGaAsP/ InP.



(a) : Diode laser AlGaAs/ GaAs

(b) : Diode laser InGaAsP/ InP

Figure III. 23 : Caractéristiques des Concentrations des électrons et des trous pour les deux structures étudiées

D'après la figure III.23 on remarque que les concentrations des électrons et des trous sont égales dans la zone active dus au déplacement de ces porteurs des régions à concentrations élevée vers les régions à moindres concentrations.

III.3.6 Effet températures :

La température est un paramètre très influent sur les dans tous les dispositifs et spécialement sur les dispositifs optoélectroniques c'est pourquoi nous avons essayé étudier la variation du courant laser de nos deux structures sous l'effet de différentes valeurs de température de 300k à 650k.

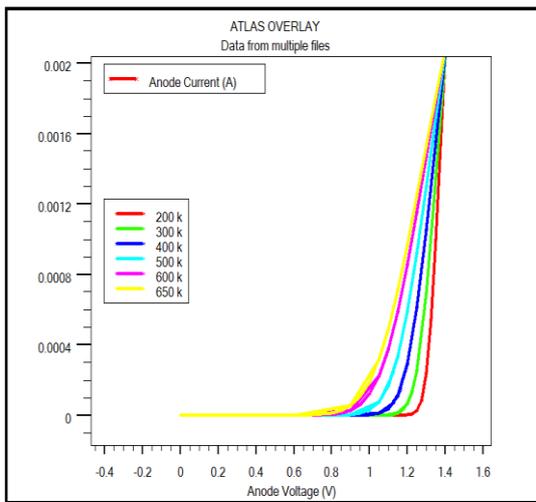
Chapitre 03 : Simulation et interprétation des résultats

La figure III.24, avec l'augmentation de la température on remarque une augmentation de courant laser ceci s'explique physiquement par une augmentation de la mobilité et une augmentation de la recombinaison (perte des charge)

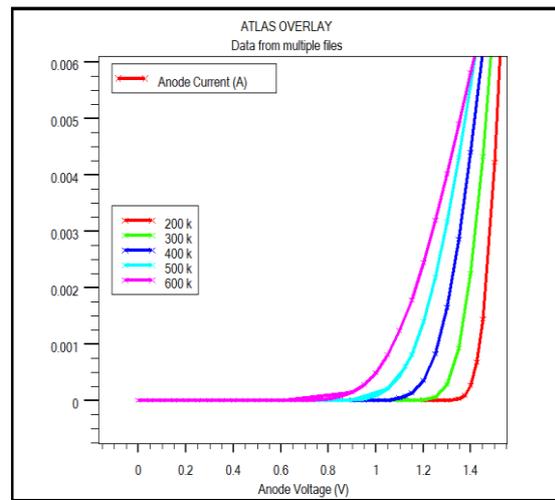
La relation entre l'intensité des émissions et la température est donnée par l'expression :

$$I = I_{300k} * \exp - (T - 300k)/T_1[1]$$

T_1 : Une température caractéristique souhaitable élevée par ce qu'elle implique une faible dépendance à la température.

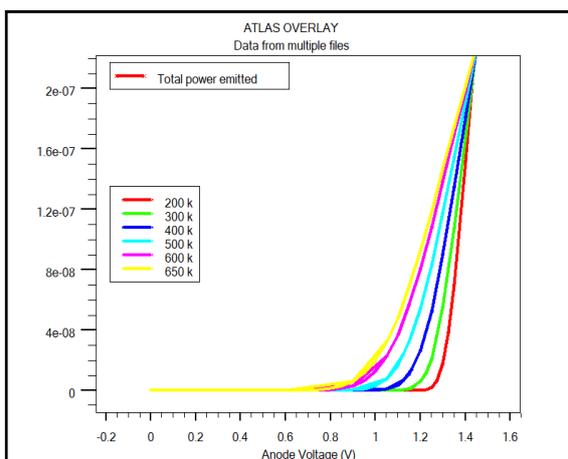


A) Diode laser InGaAsP/ InP

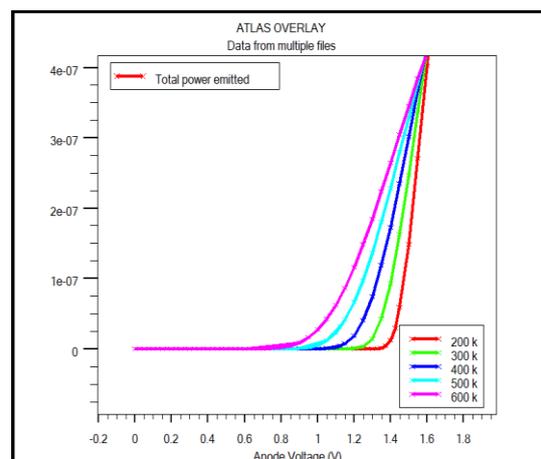


B) Diode laser AlGaAs/ GaAs

Figure III. 24 : Effet thermique sur la caractéristique courant-tension des deux diodes lasers étudiées.



A) Diode laser InGaAsP/ InP



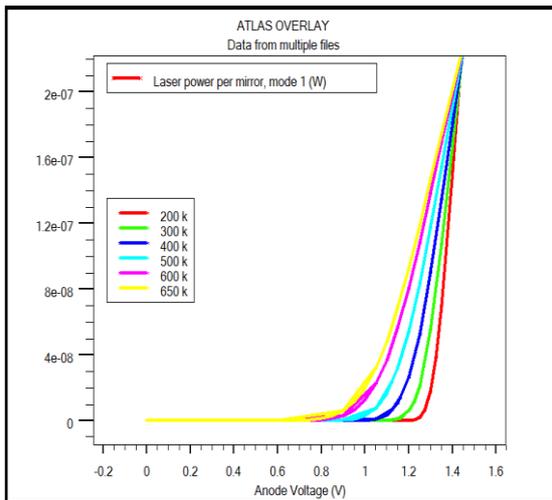
B) Diode laser AlGaAs/ GaAs

Figure III. 25 : Effet thermique sur la caractéristique puissance-tension des deux diodes lasers étudiées

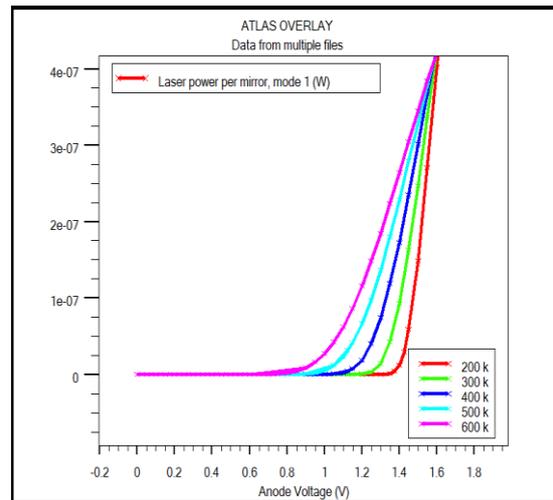
Chapitre 03 : Simulation et interprétation des résultats

Sur la figure III.25, on trouve que la puissance totale émise la diode laser InGaAsP/ InP et la diode laser AlGaAs/ GaAs augmente quand on augmente la température de 300k à 600k.

Dans les figure III.26 et III.27 on observe aussi que la puissance Laser émise et densité des photons dans la diode laser InGaAsP/ InP et la diode laser AlGaAs/ GaAs augmente quand on augmente la température de 300k à 600k.

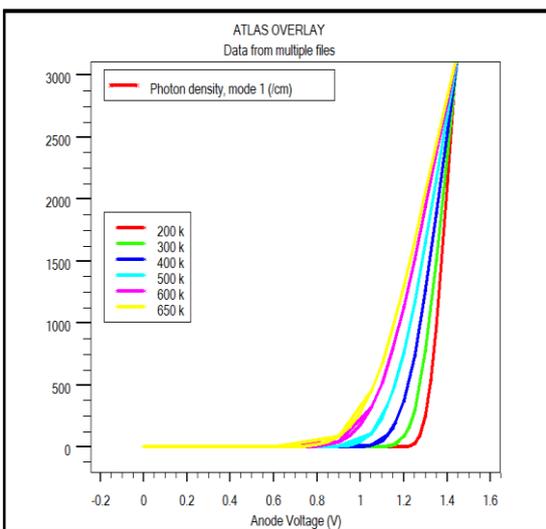


A) Diode laser InGaAsP/ InP

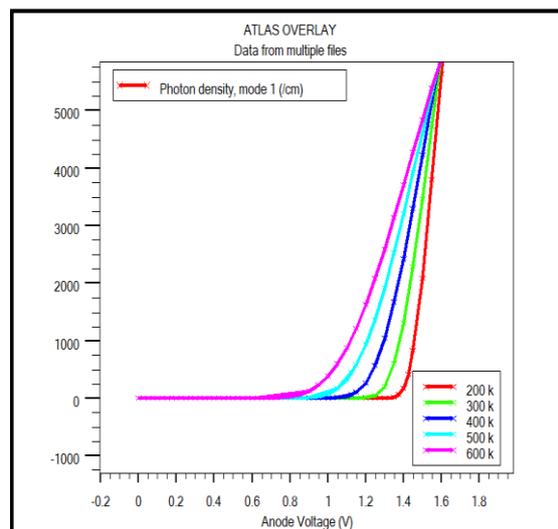


B) Diode laser AlGaAs/ GaAs

Figure III. 26 : Effet thermique sur la caractéristique Laser power des deux diodes lasers étudiées



A) Diode laser InGaAsP/ InP



B) Diode laser AlGaAs/ GaAs

Figure III. 27 : Effet thermique sur la densité des photons dans deux diodes lasers étudiées

Les résultats obtenus dans la figure III.28 et la figure III.29 dévoile que l'augmentation de pic du champ électrique dans les interfaces de la région active de la diode laser InGaAsP/

Chapitre 03 : Simulation et interprétation des résultats

InP et la diode laser AlGaAs/ GaAs augmente quand on augmente la température de 300k à 600k.

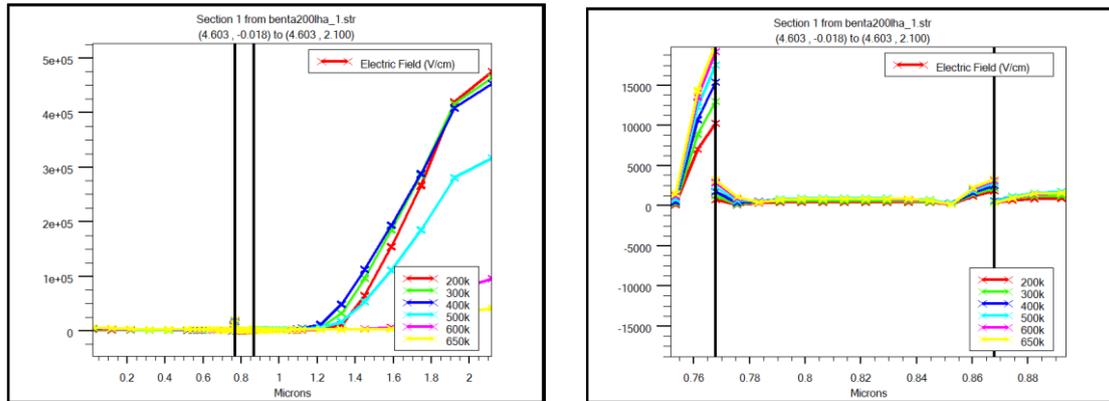


Figure III. 28 : Effet thermique sur le champ électrique de la diode laser InGaAsP/ InP

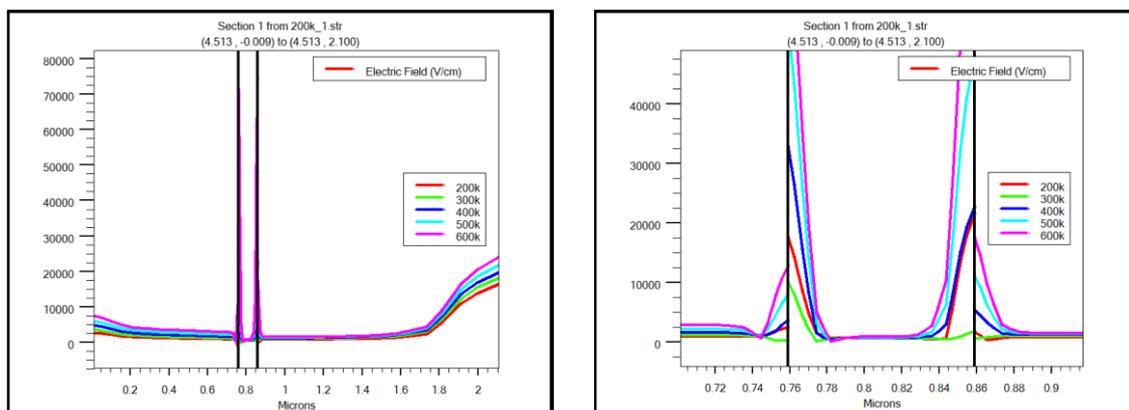
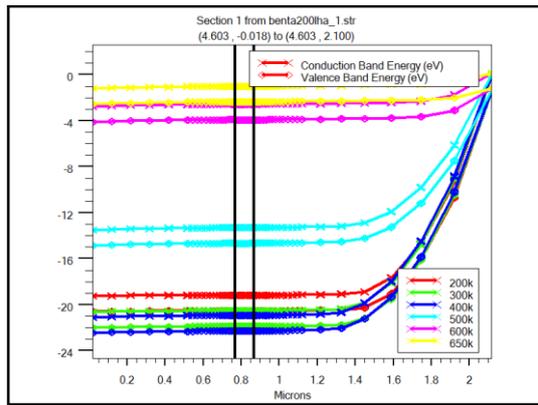


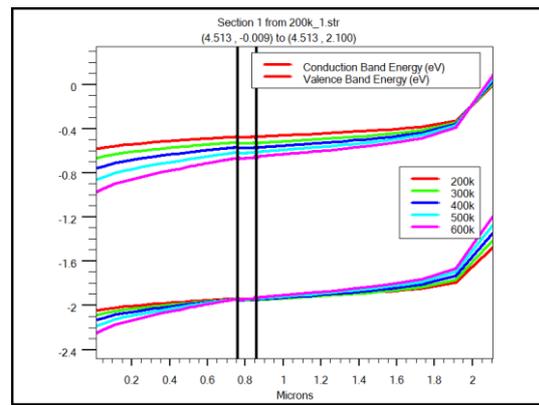
Figure III. 29 : Effet thermique sur le champ électrique de diode laser AlGaAs/ GaAs

La figure III.30 présente l'effet thermique sur le diagramme de bande d'énergie pour la diode laser InGaAsP/ InP et la diode laser AlGaAs/ GaAs.

Chapitre 03 : Simulation et interprétation des résultats



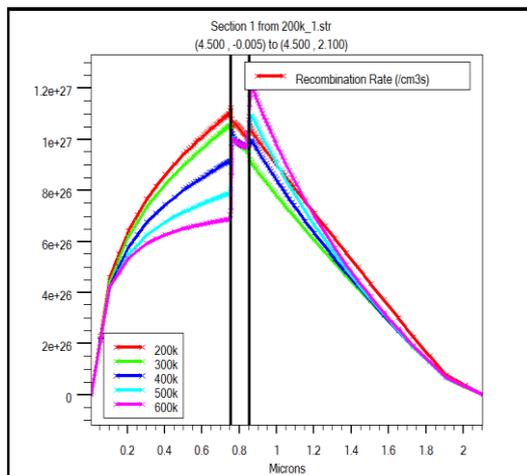
A) Diode laser InGaAsP/ InP



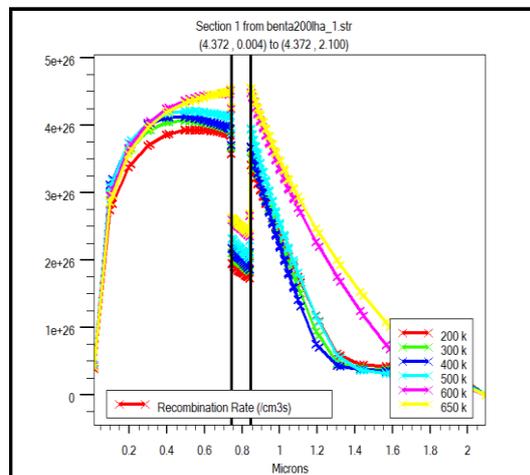
B) Diode laser AlGaAs/ GaAs

Figure III. 30 : Effet thermique sur le diagramme de bande d'énergie pour les deux diodes étudiées

La figure III.31 illustre l'effet thermique sur la recombinaison caractéristique pour la diode laser InGaAsP/ InP et la diode laser AlGaAs/ GaAs. On observe que les deux diodes réagissent différemment avec l'augmentation de température. Le taux de recombinaison augmente avec l'augmentation de température dans la diode laser AlGaAs/ GaAs et diminue dans la diode laser InGaAsP/ InP



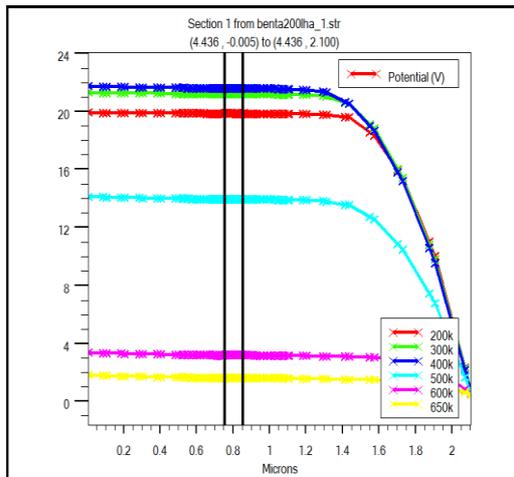
A) diode laser InGaAsP/ InP



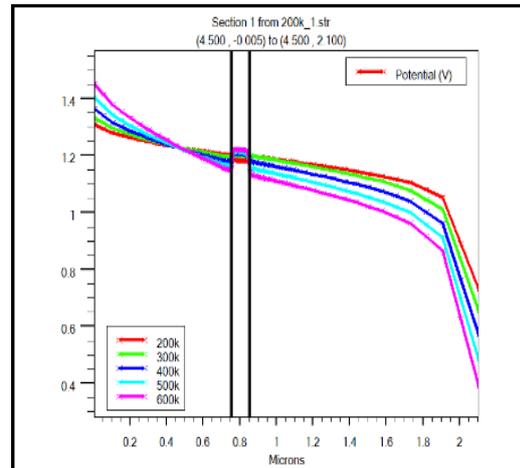
B) diode laser AlGaAs/ GaAs

La figure III.31 : L'effet thermique sur la recombinaison caractéristique

Dans les figure III.32 on observe aussi que le potentiel avec l'augmentation de température de 200k à 400k dans la diode laser InGaAsP/ InP mais il diminue après attendre la valeur 400k.



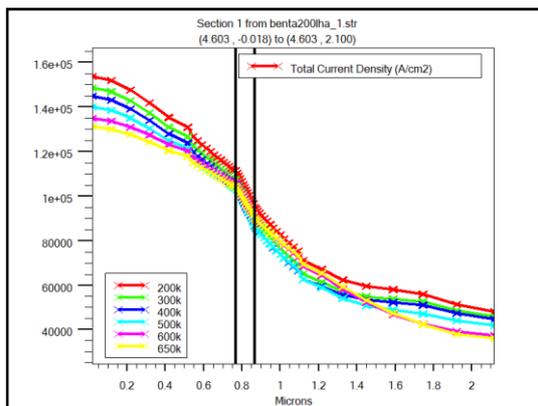
A) Diode laser InGaAsP/ InP



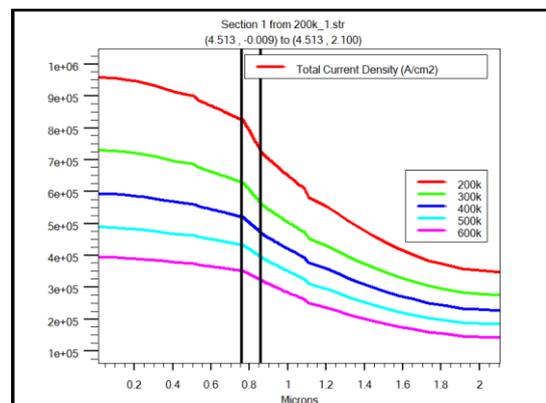
B) Diode laser AlGaAs/ GaAs

La figure III.32 : Effet thermique sur le potentiel dans les deux diodes étudiées

La densité totale du courant dans la diode laser InGaAsP/ InP et la diode laser AlGaAs/ GaAs diminue avec l'augmentation de température de 200k à 600k, ce qui est illustré dans la figure III.33



A) Diode laser InGaAsP/ InP



B) Diode laser AlGaAs/ GaAs

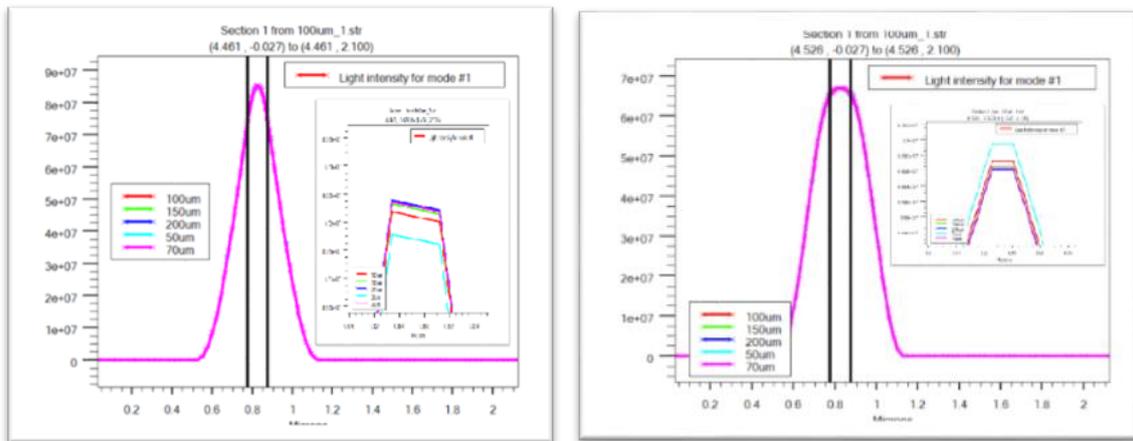
La figure III.33 : Effet thermique sur la densité totale du courant des deux diodes lasers étudiées

III.3.7 Effet cavité

Dans cette partie nous avons étudié l'effet de la largeur de cavité sur les caractéristiques de la diode laser InGaAsP/ InP et la diode laser AlGaAs/ GaAs, pour différentes valeurs : 50um, 70um, 100um, 150um et 200um.

La figure III.34 présente l'effet de la géométrie de la cavité sur l'intensité des deux diodes lasers étudiées :

Chapitre 03 : Simulation et interprétation des résultats



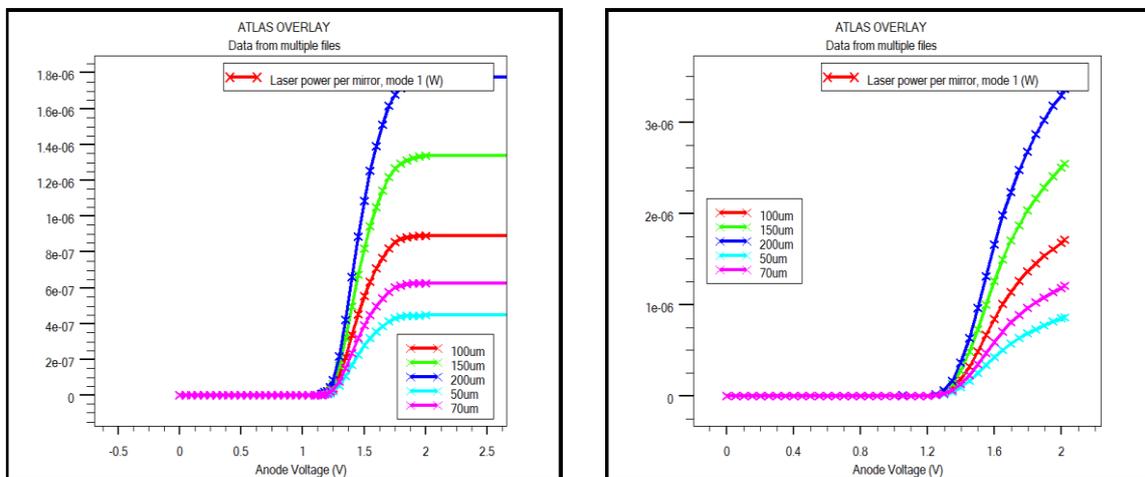
A) Diode laser InGaAsP/ InP

B) Diode laser AlGaAs/ GaAs

La figure III.34 : L'effet de la largeur de cavité sur l'intensité des deux diodes lasers étudiées

D'après la figure III.34 on observe clairement que l'intensité spectrale est presque identique dans les cinq largeurs de cavité.

Selon la figure III.35, on trouve que le caractéristique laser de la diode laser InGaAsP/ InP et la diode laser AlGaAs/ GaAs augmente avec l'augmentation de la largeur de la cavité de 50um à 200um.

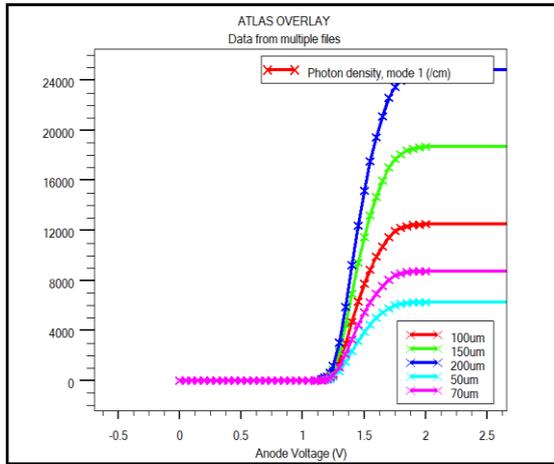


A) Diode laser InGaAsP/ InP

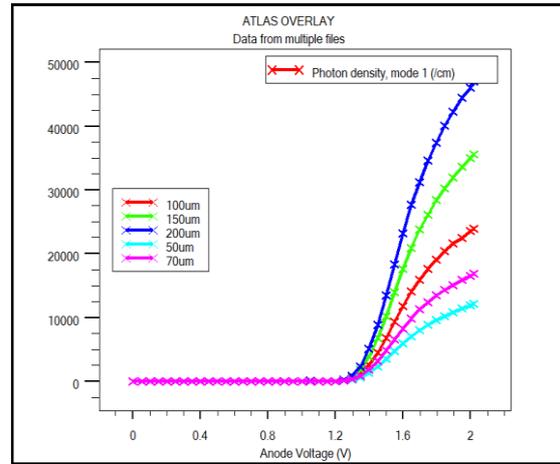
B) Diode laser AlGaAs/ GaAs

Figure III. 35 : L'effet de la largeur de cavité sur la caractéristique Laser power des deux diodes lasers étudiées

La figure III.36, montre clairement que la densité des photons dans la diode laser InGaAsP/ InP et la diode laser AlGaAs/ GaAs augmente avec l'augmentation de la largeur de la cavité de 50um à 200um.



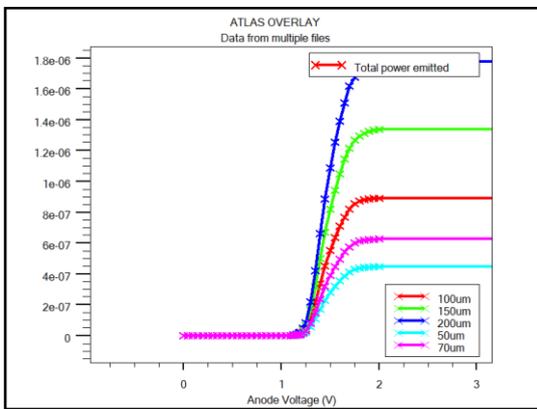
A) Diode laser InGaAsP/ InP



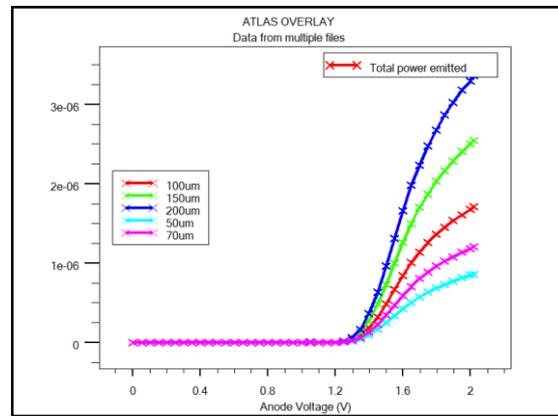
B) Diode laser AlGaAs/ GaAs

La figure III.36 : Effet de la largeur de cavité sur la densité des photons dans les deux diodes lasers étudiées

La figure III.37, illustre que la puissance totale émise dans la diode laser InGaAsP/ InP et la diode laser AlGaAs/ GaAs augmente si on augmente de la largeur de la cavité de 50um à 200um.



A) diode laser InGaAsP/ InP



B) diode laser AlGaAs/ GaAs

La figure III.37 : Effet de la largeur de cavité sur la puissance totale dans les deux diodes lasers étudiées

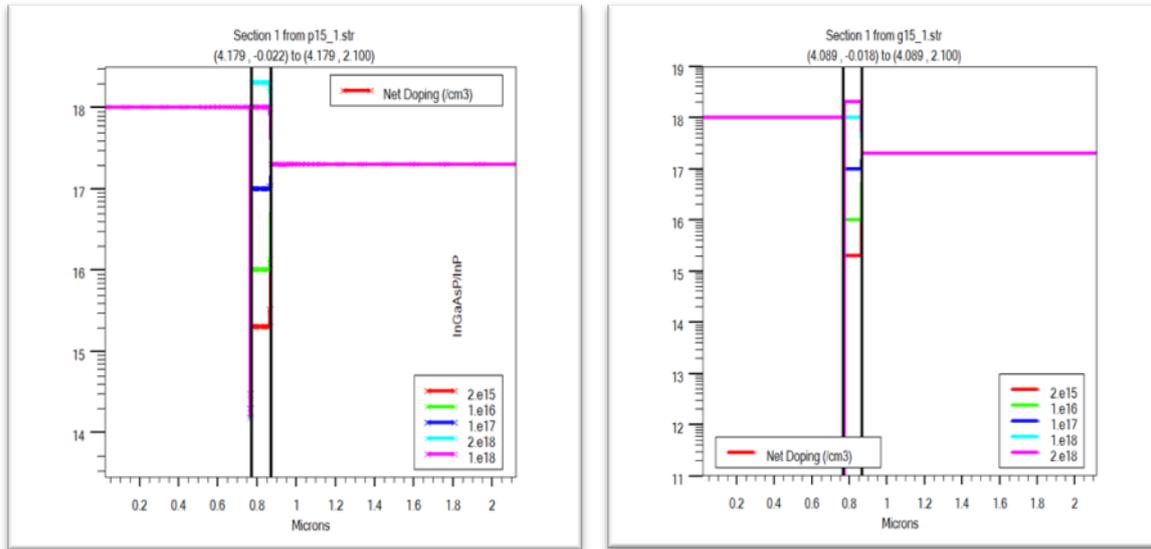
III.3.8 Effet de dopage :

Dans cette partie nous étudions l'effet de dopage de couche de la région active type N (InGaAsP pour la diode InGaAsP/InP et AlGaAs pour la diode AlGaAs/GaAs) dans le but de voir l'influence du dopage sur les performances de diodes laser.

Nous faisons varier le dopage de la couche active type N de 2×10^{15} atomes/cm³ à 2×10^{18} .

Chapitre 03 : Simulation et interprétation des résultats

La figure III.38 illustre le net doping dans les deux diodes étudiées.

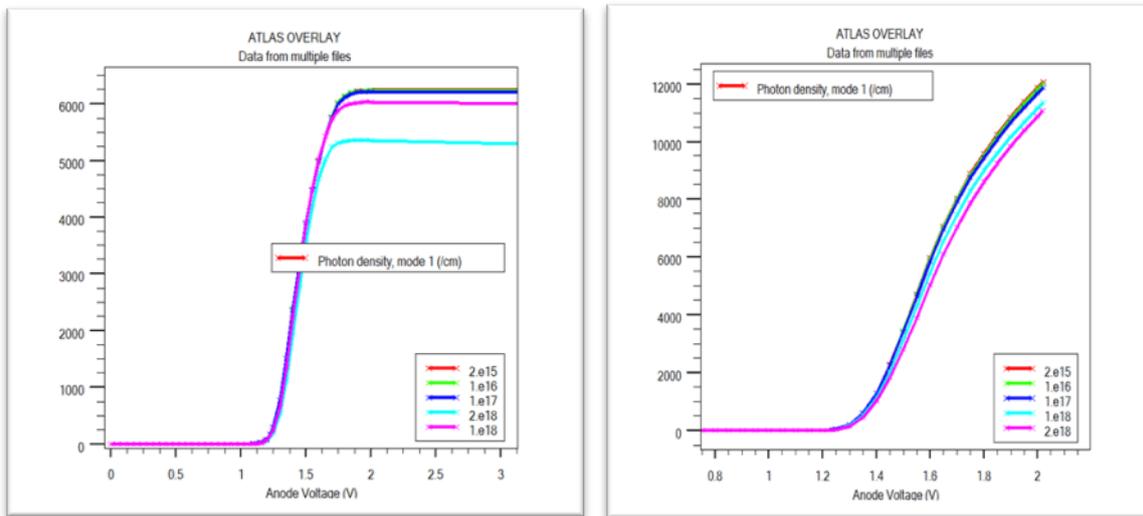


A) Diode laser InGaAsP/ InP

B) Diode laser AlGaAs/ GaAs

La figure III.38 : le net doping dans les deux diodes étudiées

On remarque dans la figure III.39 que la densité des photons augmente avec l'augmentation de dopage dans les régions actives des deux diodes. Mais après quelle atteint un maximum elle diminue à la valeur du dopage $1.e^{18}$ (atomes/cm³).

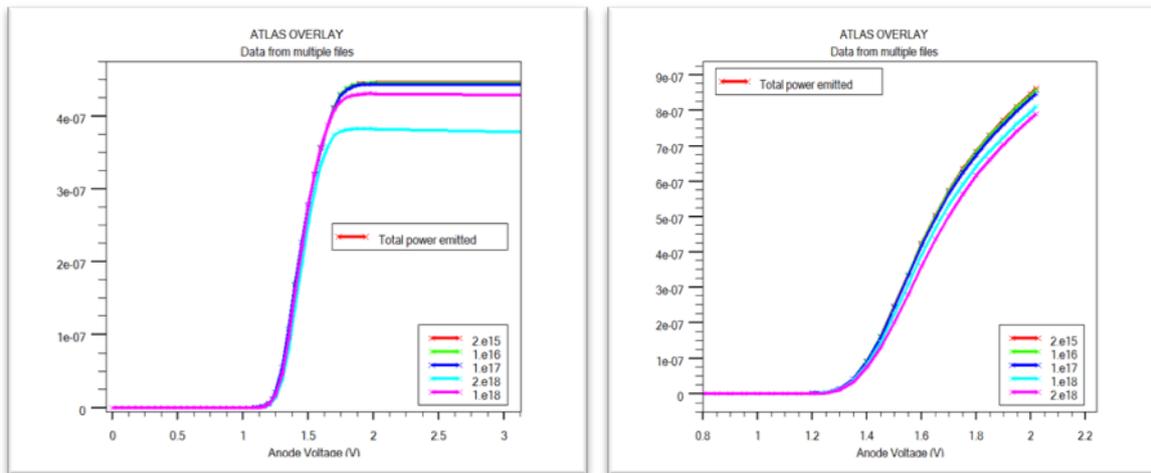


A) Diode laser InGaAsP/ InP

B) Diode laser AlGaAs/ GaAs

La figure III.39 : L'effet de variation de dopage la densité des photons dans les deux diodes étudiées

Selon la figure III.40 que la puissance totale émise dans la diode InGaAsP/InP et la diode AlGaAs/GaAs) augmente avec l'augmentation de dopage dans les régions actives des diodes. Mais après quelle atteint un maximum elle diminue à la valeur du dopage $1.e^{18}$ (atomes/cm³).



A) Diode laser InGaAsP/ InP

B) Diode laser AlGaAs/ GaAs

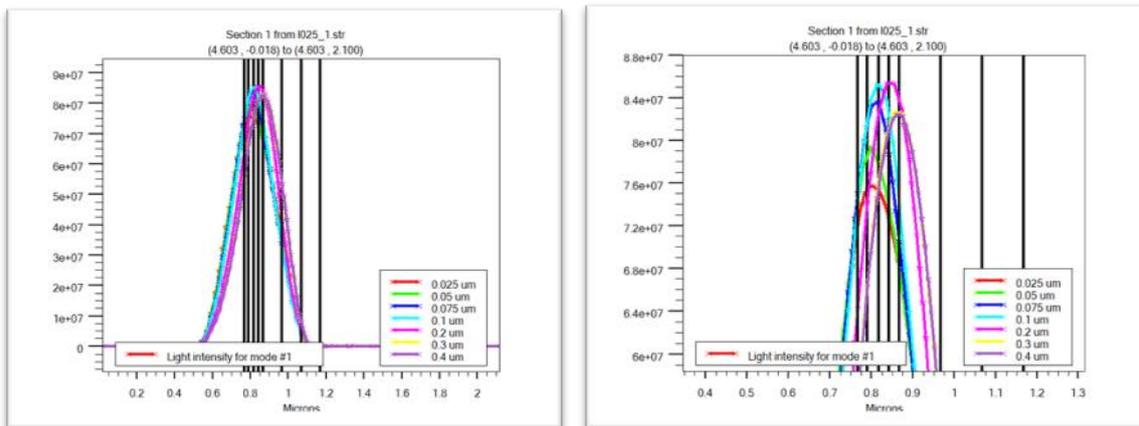
La figure III.40 : L'effet de variation de dopage sur la puissance total émise dans les deux diodes étudiées

III.3.9 Effet de variation de l'épaisseur de couche active :

Dans cette partie nous étudions l'effet de variation de l'épaisseur de couche de la région active type N (InGaAsP pour la diode InGaAsP/InP et AlGaAs pour la diode AlGaAs/GaAs) sur les performances de diodes laser.

Nous faisons varier l'épaisseur de la couche active type N de $0.025 \mu\text{m}$ à $0.4 \mu\text{m}$

La figure III.41 illustre l'effet de la variation de l'épaisseur de couche de la région active sur l'intensité optique dans la diode InGaAsP/InP.

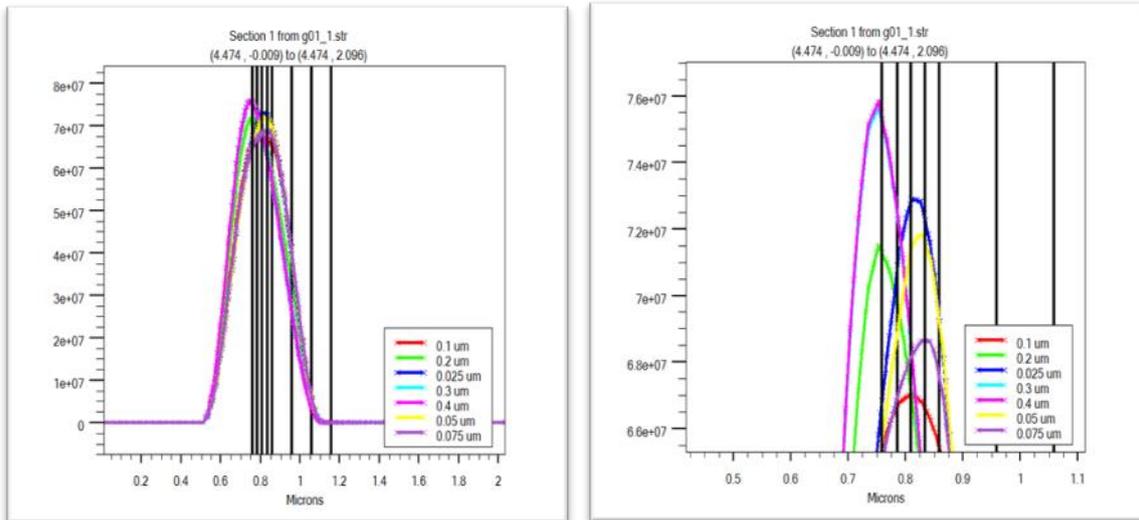


La figure III.41 : L'effet de variation de l'épaisseur de couche de la région active sur l'intensité optique dans la diode InGaAsP/InP.

A travers la figure III.41 on voit que l'intensité optique de la diode InGaAsP/InP augmente avec l'augmentation de l'épaisseur de la couche InGaAsP, mais lorsqu'elle atteint un maximum elle diminue à la valeur de la largeur $0.1 \mu\text{m}$.

Chapitre 03 : Simulation et interprétation des résultats

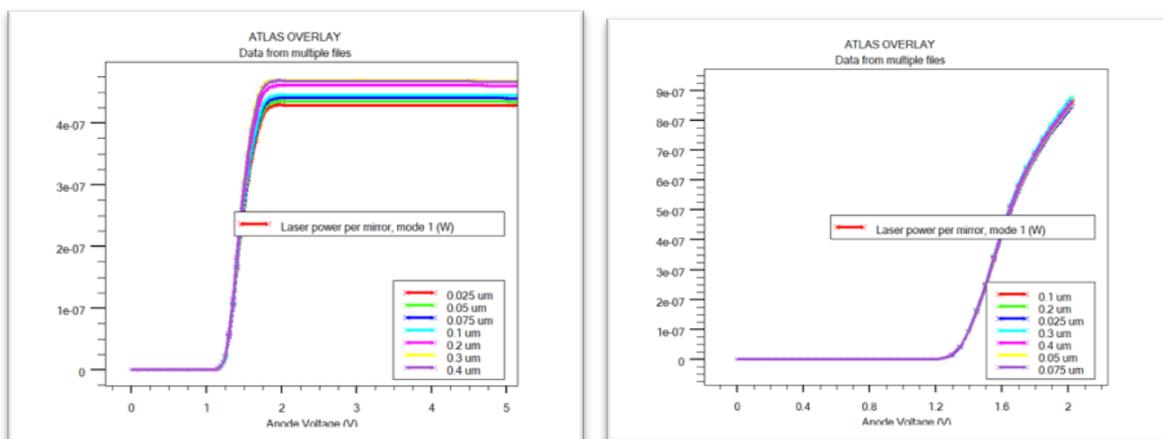
La figure III.42 illustre l'effet de la variation de l'épaisseur de couche de la région active sur l'intensité optique dans la diode AlGaAs/GaAs.



La figure III.42 : L'effet de variation de l'épaisseur de couche de la région active sur l'intensité optique dans la diode AlGaAs/ GaAs

Selon la figure III.42 on remarque que l'intensité optique de la diode AlGaAs/ GaAs diminue avec l'augmentation de l'épaisseur de la couche AlGaAs de 0.025 μm jusqu'à 0.1 μm, mais lorsqu'elle atteint 0.1 μm elle augmente avec l'augmentation de l'épaisseur et elle atteint un maximum à la valeur de la largeur 0.3 μm.

La figure III.43 illustre l'effet de la variation de l'épaisseur de couche de la région active sur la caractéristique Laser power des deux diodes lasers étudiées



A) Diode laser InGaAsP/ InP

B) Diode laser AlGaAs/ GaAs

La figure III.43 : L'effet de variation de l'épaisseur de couche de la région active sur la caractéristique Laser power des deux diodes étudiées

À travers la figure III.43 on voit que la caractéristique du laser de la diode InGaAsP/InP et de la diode AlGaAs/ GaAs augmente avec l'augmentation de l'épaisseur de la couche active, mais lorsqu'elle atteint un maximum à la valeur du le largeur 0.3 μm elle commence a diminué.

III.4 Conclusion :

Dans ce troisième chapitre, nous avons étudié deux structures de diode laser InGaAsP/InP et de diode laser AlGaAs/GaAs. Ou nous avons réalisé cette modélisation par l'utilisation du logiciel de simulation atlas de Silvaco.

Nous avons pu déterminer les caractéristiques (courant-tension, puissance-tension). Nous avons également étudié l'influence de certains paramètres, tels que la température, la largeur de la cavité, l'épaisseur de la région active et le dopage. Aussi nous avons étudié l'influence des paramètres électriques, optiques et géométriques sur le spectre de densité de puissance et la puissance émise des diodes lasers. Nous avons remarqué par exemple que le spectre de densité de puissance, la puissance émise et l'émission spontanée dépendent du matériau utilisé, du dopage de la région active, de la température, de la longueur et de l'épaisseur de la région active.

Bibliographie - Chapitre III

- [1] DEHIMI Said, « Etude de lasers à base des composés semi-conducteurs (InP, GaAs, GaP) » mémoire de magister 2011, Université El-Hadj Lakhder – Bat

Conclusion générale :

Au cours des dernières années, les recherches sur les composants optoélectroniques se sont développées rapidement grâce à l'utilisation de nouveaux matériaux semi-conducteurs tels que les composés semi-conducteurs III-V couramment utilisés dans le domaine des lasers.

Notre travail sur cette mémoire se base sur l'étude et la simulation de diodes lasers semi-conducteurs. Nous avons travaillé sur deux structures à double hétérojonction de même géométrie, la première à base de matériau AlGaAs/GaAs et la seconde à base de matériau InGaAsP/InP.

Pour atteindre notre objectif, nous avons d'abord étudié les matériaux semi-conducteurs et leurs propriétés. Ensuite nous avons penché nos recherches sur l'influence des différents paramètres géométriques et physiques, tout on compare les deux structures. D'abord pour voir l'importance des matériaux dans la réalisation des diodes lasers ensuite de voir l'influence des paramètres physique et optique sur chaque. L'outil de base qui nous a aider pour modéliser ces deux structures été le logiciel de simulation atlas de Silvaco.

Nous avons remarqué un effet important de la température sur les structures de diode laser. Une augmentation de la température augmente la mobilité des électrons, ce qui entraîne une augmentation du courant, de la densité de photons et de la puissance du laser. De plus, l'augmentation de la largeur de la cavité à mesure une augmentation de 50 um à 200 um, la densité de photons et la puissance émise par la diode laser augmentent également. D'autre part, nous avons constaté que la variation d'épaisseur et le dopage de la région active ont un effet significatif sur le comportement des diodes laser à semi-conducteur.