

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA
FACULTE DES SCIENCE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE



Mémoire de fin d'études
En vue de l'obtention du Diplôme de Master Professionnel
Domaine : Sciences et Technologies
Filière: Electronique
Spécialité: Electronique des systèmes embarqués
Présenté par:
ZARITA FAWZI

**Etude de l'effet de l'épaisseur de la
couche active d'une diode laser sur la
longueur d'onde**

Devant le jury :

Nom & Prénom	Grade	Qualité	Université
M. BOULESBAA MOHAMMED	M.C.A	Président	UKM Ouargla
M. BENATHMANE Khaled	M.A.A	Encadreur	UKM Ouargla
M. Aouf Anouar Essadate	M.A.A	Examineur	UKM Ouargla

Année Universitaire:2019 /2020

Remerciements

Je remercie chaleureusement mon encadreur Mr. Benathmane khaled pour ses encouragements, ses orientations et ses précieux conseils. Merci pour sa grande disponibilité.

Je remercie aussi Mr. Mehaouchi azeddine chef département d'électronique.

Par ailleurs Je remercie les membres de jury et tous les enseignants du département d'électronique.

Je voudrais enfin remercie tous ceux qui m'ont accordée leurs aides et leurs encouragements.

DÉDICACE

Je dédie ce travail :

A ma chère mère et mon cher père

A mes frères et sœurs

A ma chère épouse

A mes très chères filles : Chahed ,Raghd et Chada

**A tous mes amis surtout Nouari et mes collègues
de la promotion 2019/2020.**

TABLES DES MATIERS

Introduction générale	1
Chapitre I les matériaux semi-conducteurs	
I- les semi-conducteurs.....	5
I-1- Introduction	5
I-2- différence entre isolant, conducteur et semi-conducteur.....	5
- cas de conducteur	5
- cas d'isolants.....	5
- cas de semi- conducteur.....	5
I-3- dopage.....	6
I-4- courant dans un semi-conducteur.....	7
I-5- semi-conducteurs usuels.....	9
- les semi- conducteurs élémentaires.....	9
- les semi- conducteurs composés.....	10
II- les semi-conducteurs III-V	10
II-1-introduction.....	10
II-2-définition des semi-conducteurs III-V.....	10
II-3- les composés binaires, ternaires et quaternaires des S/C III-V.....	10
II-3-1 les composés binaires.....	11
II-3-2 les composés ternaires et quaternaires.....	13
Chapitre II les diodes lasers	
I-généralités sur les diodes laser.....	15
I-1-introduction.....	15

I-2 les principes des diodes lasers.....	16
I-2-1-absorption inter bande.....	17
I-2-2-émission spontanée.....	18
I-2-3-émission stimulée.....	19
I-3- l'inversion de population.....	20
I-4- l'effet laser.....	21
I-5- amplification.....	21
I-6-pompage.....	22
I-7- caractéristiques d'un faisceau laser.....	22
I-8- principe de la source diode laser.....	22
I-9-le rayonnement laser.....	23
I-10- les différents types de diode laser.....	24
I-11- les diodes lasers à semi- conducteur.....	25
I-12- structure de diode laser.....	27
I-12-1- structure large.....	27
I-12-2- structure ruban.....	28

Chapitre III Simulation et Résultats

III-1- introduction.....	29
III-2-Détail de la structure et théorie.....	29
III-3-Résultats et Discussion.....	30
III-4-Caractéristiques I-V d'une diode laser bleu à puits quantique.....	33

III-5-La puissance totale d'émission.....	34
III-6-conclusion.....	35
Conclusion générale.....	36
Bibliographie.....	37

Introduction générale

Dans l'ensemble des matériaux, les semi-conducteurs constituent une classe bien définie, avec des propriétés physiques particulières qui sont sources d'intérêt au plan de la connaissance fondamentale et à celui des applications. Ces deux facteurs indissociables font l'importance de ces matériaux, malgré le nombre limité d'éléments et de composés semi-conducteurs. [1]

Principalement remarquables par leurs propriétés électroniques, les semi-conducteurs interviennent dans presque tous les équipements électriques et optiques.

La plus grande partie des composants (transistors, diodes...) sont réalisés en silicium qui joue un rôle prépondérant, sa technologie et sa connaissance théorique ont atteint des niveaux inégalés [1]. En électronique rapide et en optoélectronique, les propriétés du silicium sont insuffisantes (mobilités des porteurs relativement petites et transitions électroniques indirectes au seuil d'absorption optique). Dans de telles applications, les composés semi-conducteurs III-V sont préférables. Les propriétés de ces matériaux sont très intéressantes pour les performances de ces dispositifs.

Les semi-conducteurs III-V sont presque tous à gap direct. L'arséniure de gallium GaAs est le représentant le plus connu, de gap 1,424 eV. InP en est un autre, de gap 1,35 eV. Leur grande force réside dans le nombre quasi illimité d'alliages possibles entre Ga, As, Al, In et P. Cette particularité essentielle a donné aux semi-conducteurs III-V la première place pour l'optoélectronique et notamment pour les lasers à semi-conducteurs. Cependant, le gap reste toujours inférieur à 2 eV environ et on ne peut pas les considérer comme des matériaux grand gap. En particulier, le domaine visible n'est pas couvert par ces semi-conducteurs III-V classiques. Cette famille de semi-conducteurs III-V s'est agrandie par la venue d'un nouveau matériau, le nitrure de gallium (GaN). Également direct, le gap du GaN atteint 3,43 eV à 300 K. C'est donc un matériau grand gap, qui complète la gamme spectrale de la famille III-V, qui concurrence les composés II-VI à grand gap direct dans le domaine optoélectronique et qui concurrence les composés à grand gap indirect comme SiC et le diamant pour l'électronique haute température et forte puissance.

La théorie du laser à semi-conducteurs est relativement complexe car elle fait intervenir des notions de physique du solide, d'électromagnétisme et d'optique guidée; d'un point de vue pratique, un laser à semi-conducteur est essentiellement un dispositif à semi-conducteur ayant la capacité d'émettre une lumière cohérente.

Le présent travail est une étude des effets de la largeur de puits quantique sur le gain du matériau et la longueur d'onde laser de la nano hétéro structure à laser SCH In(1-x)Ga(x) / GaN

Dans le premier chapitre nous allons aborder les matériaux semi-conducteurs et les semi-conducteurs III-V, les équations de base des semi-conducteurs.

Dans le deuxième chapitre, nous allons présenter des généralités sur les diodes lasers (principe de fonctionnement, les différents types des lasers,...).

Enfin nous présentons dans le troisième chapitre les résultats de simulation obtenus dans notre étude.

Chapitre I

Les matériaux semi-conducteurs

Chapitre 1 Les matériaux semi-conducteurs

I- Les semi-conducteurs:

I -1- Introduction:

Dans la nature, la matière peut être trouvée dans l'une des trois états : gaz, liquide et solide. La différence entre les matériaux réside dans la nature de liaison entre les différents atomes qui les constituent.

Du côté électrique, les matériaux peuvent être répartis sur trois grandes catégories principales : conducteur, isolant et semi-conducteur. Dans ce qui suit nous nous limitons à la présentation des semi-conducteurs, matière de base dans la fabrication de la majorité des composants électronique.

I-2-Différence entre conducteur, isolant et semi-conducteur:

- cas de conducteur :

Les bandes de conduction BC et de valence BV chevauchent. la bande interdite BI est complètement absente.

- Cas d'isolants :

Les bandes de conduction BC et de valence BV sont séparés par une bande interdite BI dont la largeur (E_g) est supérieure à 3eV. Citons comme exemple :

- le diamant a $E_g=5,47\text{eV}$
- l'oxyde de silicium (SiO_2) a $E_g=8\text{eV}$

- cas de semi-conducteur :

Les bandes de conduction BC et de valence BV sont séparés par une bande interdite BI dont la largeur (E_g) est inférieure à 2eV. Citons le cas des trois semi-conducteurs les plus utilisés :

- Silicium (Si) $E_g=1,12\text{eV}$.
- Germanium (Ge) $E_g=0,66\text{eV}$.
- Arséniure de Gallium (AsGa) $E_g=1,43\text{eV}$.

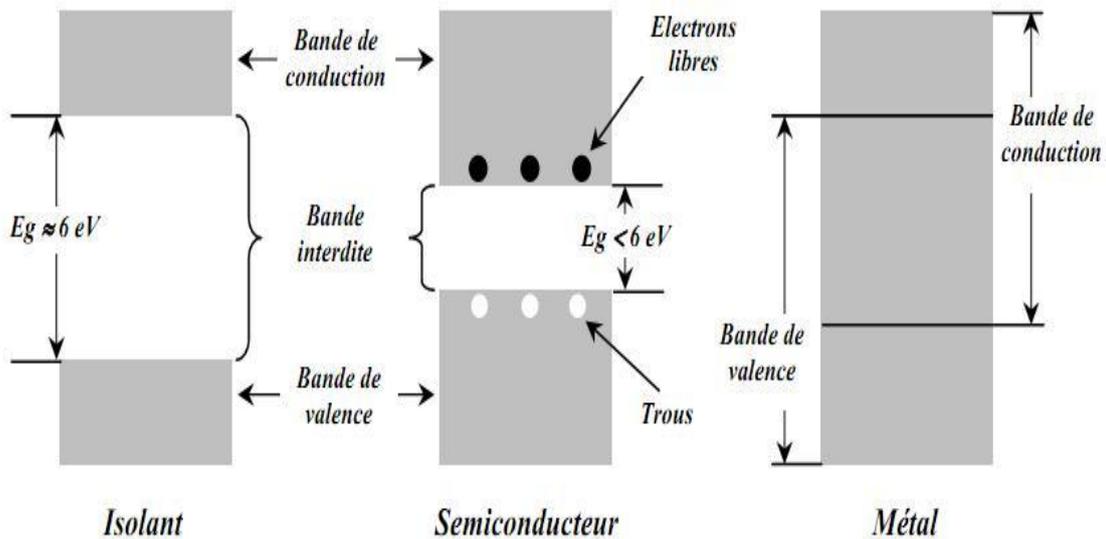


Schéma : Structure en bandes d'énergie des matériaux Isolants, Semi-conducteurs et Métaux

I-3- Dopage :

Le dopage définit le procédé d'ajout des atomes d'impuretés pour augmenter un type donné de porteurs de charge. [2]

- Pour augmenter le nombre **n** des porteurs de charge négative (électron de la bande de conduction), on ajoute au semi-conducteur pur des atomes pentavalents « Phosphore et Arsenic », le semi-conducteur obtenu est dit extrinsèque et il est de **type N**. (figure b)

A la température ambiante pratiquement tous les donneurs sont ionisés et si la concentration en atome donneur est N_d , la densité des porteurs libres du semi-conducteur sera:

$$n = n_0 + N_d$$

Où n_0 est la densité d'électron généré par le processus de rupture de liaison de covalence qui engendre des paires électrons-trous.

- Pour augmenter le nombre **p** des porteurs de charge positive (trou de la bande de valence), on ajoute au semi-conducteur pur des atomes trivalents « Aluminium ou Bore », le semi-conducteur ainsi obtenu est dit extrinsèque et il est de **type P**. (figure a)

De la même façon que pour le semi-conducteur dopé p, la concentration en trous sera:

$$p = p_0 + N_a$$

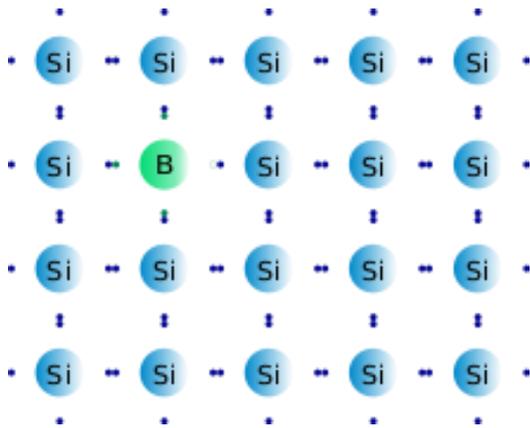


Figure b : Silicium dopé - dopage de type P

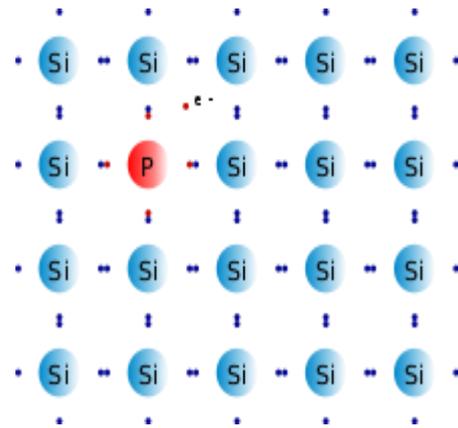


figure a : Silicium dopé - dopage de type N

I-4- Courants dans un semi-conducteur:

Le courant électrique dans un semi-conducteur est le résultat de mouvement des électrons libres ou des trous.

La présence d'un champ électrique dans un semi-conducteur soumet les porteurs de charge à une force électrostatique $q\vec{E}$. par conséquent, les électrons se déplacent dans le sens contraire du champ électrique, alors que les trous se déplacent dans le même sens que ce champ. [2]

En appliquant la loi fondamentale de la dynamique $\vec{F} = m \frac{d\vec{v}}{dt}$ nous aurons:

- Pour les électrons:

$$\mathbf{V}_n = \mu_n \mathbf{E} \quad (1)$$

Ou

\mathbf{V}_n : est la vitesse moyenne des électrons.

μ_n : est la mobilité des électrons.

- Pour les trous:

$$\mathbf{V}_p = \mu_p \mathbf{E} \quad (2)$$

Ou

\mathbf{V}_p : est la vitesse moyenne des trous.

μ_p : est la mobilité des trous.

Chapitre 1 Les matériaux semi-conducteurs

Une fois la mobilité des deux porteurs de charge est déterminée, nous passons aux densités de courant dû à chaque type de porteur de charge. Si n et p sont les concentrations en électrons et trous respectivement, les densités seront données par :

$$J_{n,c} = q \cdot n \cdot \mu_n E \quad (3)$$

$$J_{p,c} = q \cdot p \cdot \mu_p E \quad (4)$$

Le courant total a une densité qui exprimée par la somme des deux densités J_n et J_p .

$$J_c = J_{n,c} + J_{p,c} = q(n \cdot \mu_n + p \cdot \mu_p)E = \sigma \cdot E \quad (5)$$

Ainsi, la conductivité $\sigma(T)$ et la résistivité $\rho(T)$, sont données par :

$$\sigma(T) = q(n \cdot \mu_n(T) + p \cdot \mu_p(T)) \quad (6)$$

$$\rho(T) = \frac{1}{q(n\mu_n(T) + p\mu_p(T))} \quad (7)$$

Considérons un semi-conducteur dopé dont la concentration en trous varie suivant un axe x . la densité de diffusion en un point d'abscisse x est :

$$J_{Dp} = -q \cdot D_p \frac{dp(x)}{dx} \quad (8) \quad \text{ou} \quad D_p = \mu_p \frac{KT}{q} \quad (9)$$

D_p : constante de diffusion de la même façon dans le cas des électrons de concentration $n(x)$ et on a :

$$J_{Dn} = q \cdot D_n \frac{dn(x)}{dx} \quad (10) \quad \text{avec} \quad D_n = \mu_n \frac{KT}{q} \quad (11)$$

La densité totale de courant pour les électrons et les trous est donnée, en explicitant la relation de dépendance avec la température par :

$$J_n = q \cdot n \mu_n E + q \cdot D_n \frac{dn}{dx} \quad (12)$$

$$J_p = q \cdot p \mu_p E - q \cdot D_p \frac{dp}{dx} \quad (13)$$

$$\text{Le courant total est: } \mathbf{J_{tot} = J_n + J_p} \quad (14)$$

Les constantes D_p et D_n sont liées aux mobilités μ_n et μ_p par :

$$\frac{D_n}{\mu_n} = \frac{D_p}{\mu_p} = \frac{KT}{q} \quad (15)$$

I-5- Semi-conducteurs usuels:

Les semi-conducteurs usuels sont essentiellement constitués d'éléments de la colonne IV et des colonnes voisines du tableau périodique de Mendeleïev. On en distingue plusieurs types :

a- les semi-conducteur élémentaires sont constitués d'un seul élément chimique. On rencontre des structures cristallines dites «simple» si l'élément constituant est de la colonne IV B. les deux éléments les plus importants pour l'électronique sont le silicium (Si) et le germanium (Ge). Le premier est le plus utilisé dans l'industrie des composants.

On rencontre également des semi-conducteurs dits « élémentaires complexes » comme le sélénium (Se, colonne IV), notamment employé pour ses propriétés photovoltaïques.

b- les semi-conducteurs composés sont constitués de plusieurs éléments par exemple les composés binaires peuvent être constitués de deux éléments distincts de la colonne IV (SiC , SiGe), d'éléments des colonnes **III** et **V** (Ga As, GaN) ou encore des éléments des colonnes **II** et **VI** (ZnS,CdS). Les composés GaAs, GaP et GaN sont fréquemment utilisés dans la fabrication des diodes électroluminescentes.

I- les semi- conducteurs III-V

I-1- Introduction:

Après les spectaculaires résultats enregistrés dans la technologie silicium dans le domaine de la microélectronique, la recherche de composants électroniques présentant des propriétés de transport supérieures à celles du silicium, conduit la plupart des grands laboratoires de recherches à s'intéresser à des nouveaux matériaux et en particulier les composés semi-conducteurs III-V.

I-2 -Définitions des semi- conducteurs III-V:

Les matériaux semi-conducteurs III-V sont des corps composés formés à partir d'un élément de la III colonne et d'un élément de la V colonne de la classification périodique de Mendeleïev. Le tableau II-1 regroupe un extrait de cette classification (les chiffres en haut et bas représentent respectivement le nombre atomique et la masse atomique).

On peut obtenir un semi-conducteur si la somme des électrons des deux espèces est égale à 8 électrons.

III	IV	V
$^5_{10,81} B$	$^6_{12,01} C$	$^7_{14,01} N$
$^{13}_{26,98} Al$	$^{14}_{28,09} Si$	$^{15}_{30,97} P$
$^{31}_{69,74} Ga$	$^{32}_{72,59} Ge$	$^{33}_{74,92} As$
$^{49}_{114,82} In$	$^{50}_{118,69} Sn$	$^{51}_{121,75} Sb$

Tableau II-1. Extrait de la classification périodique des éléments.

Le tableau II-1 montre une représentation simplifiée du tableau périodique de Mendeleïev permettant de connaître les composés et alliages possible.

Par exemple:

- Ga : le nombre d'électron de valence est 3 électrons.
- As : le nombre d'électron de valence est 5 électrons.

Donc :

Ga + As = GaAs : est un semi-conducteur car la somme des électrons des deux espèces (Ga et As) est égale à 8 électrons.

I-3- les composés binaires, ternaires et quaternaires des S/C III-V:

I-3-1- les composés binaires :

Parmi tous les composés binaires possibles, tous n'ont pas le même intérêt potentiel. L'étude de leurs propriétés, et en particulier de la structure des bandes montre que les éléments les plus légers donnent des composés dont laquelle la bande interdite est large et indirecte, et dans laquelle la masse effective des électrons est élevée. [3]

Les composés contenant du bore, de l'aluminium ou de l'azote entrent dans cette catégorie; ils ont en général peu d'intérêt pour l'électronique rapide, qui demande des semi-conducteurs à forte mobilité de porteurs ou pour l'optoélectronique ou une structure de bande directe est nécessaire pour que les transitions optiques soient efficaces. A l'autre extrémité, les éléments lourds comme le thallium ou le bismuth donnent des composés à base de Galium (GaAs, GaSb) ou d'indium (InP, InAs, InSb) dont les propriétés sont les plus intéressantes. Le

Chapitre 1 Les matériaux semi-conducteurs

tableau II-2 résume quelques paramètres pour différents matériaux de la famille III-V.

Composés III-V	Largeur de Eg (ev)	μ (cm ² /VS)	a (Å°)
AlSb	1,58	200	6,1355
BP	2,0		4,5380
GaN	3,36	380	a=3,189 b=5,185
GaP	2,26	110	5,4512
GaAs	1,42	8500	5,6533
InP	1,53	4600	5,8686
InAs	0,36	33000	6,0584
InSb	0,17	80000	6,4794
GaSb	0,72	5000	6,0959
AlP	2,45		5,4510
BN	7,5		3,6150

Tableau II-2. Paramètres des principaux composés binaires III -V à 300⁰ K . [3]

I-3-2- les composés ternaires et quaternaires :

L'intérêt pratique des semi-conducteurs III-V est encore considérablement renforcé par la possibilité de réaliser des alliages par substitution partielle de l'un des éléments par un autre élément de la même colonne. On sait par exemple obtenir des alliages ternaires, ou quaternaires qui sont identifié de la façon suivante :

- **Ternaires** : S'il y a substitution de 2 atomes sur l'un des sous réseaux.

Exemple : Ga_xIn_(1-x)P, lorsque la composition exacte compte peu, on écrit tout court GaInP .

- **quaternaire 1+3** : S'il y a substitution de 3 atomes sur des sous réseaux.

Exemple : Ga_xIn_yAl_(1-x-y)As

- **quaternaire 2+2** : S'il y a substitution de 2 atomes sur chacun des deux sous réseaux.

Exemple : Ga_xIn_(1-x)P_yAs_(1-y)

La plupart des solutions solides ainsi réalisées sont complètes, la loi de Vegard (relation linéaire entre le paramètre de réseau et la composition) est approximativement suivie, et on observe une évolution progressive et régulière des propriétés (dont la bande interdite et les paramètres cristallins) en fonction du taux de substitution.

La loi de Vegard permet d'exprimer le paramètre de réseau en fonction des paramètres de réseau des composés binaires. Connaissant les paramètres de réseau des composés binaires, la condition d'accord $a(\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{N}) = a(\text{GaN})$,

I-3-3-La diode laser bleu à base de GaN

I-3-1-Introduction

Quarante ans après la découverte du laser, la diode laser bleue s'affirme à son tour comme une réalité économique après les diodes laser rouge et infrarouge. C'est actuellement dans le domaine des technologies de l'information qu'elle trouve son application la plus spectaculaire, notamment dans la réalisation de disques optiques de très grande capacité et plus spécifiquement des DVD. Mais elle intéresse également le marché des imprimantes laser, des dispositifs d'affichage, des jeux vidéo où elle promet une plus grande résolution

I-3-2-Structure de la diode bleue à base de GaN

La diode laser est un dispositif à base de matériaux semiconducteurs. Les candidats pour accéder aux courtes longueurs d'onde (bleu, violet), sont des semiconducteurs à grande bande interdite comme le séléniure de zinc (ZnSe), le nitrure de gallium (GaN), ou encore le carbure de silicium (SiC). Typiquement, un laser à semiconducteur est formé d'un empilement de couches de compositions différentes que l'on fait croître sur un substrat. Dans un laser bleu à base de GaN, la région active (qui produit l'émission laser) est constituée de quelques puits quantiques de InGaN contenant 10% à 20% d'In et séparés par des barrières de AlGaIn. Cette zone active est prise en sandwich entre des couches de GaN et AlGaIn dopées n ou p, c'est-à-dire comprenant un excès de charges négatives ou positives (jonction p n). Ces couches jouent le double rôle de guide d'onde pour la lumière émise et de réservoirs d'électrons et de trous qui seront injectés dans la région active par le courant électrique d'alimentation. C'est la recombinaison des paires électron-trou qui va produire les photons de l'émission laser. En faisant varier le rapport In/Ga, on obtient une émission allant de 480 nm dans le bleu.

Notre travail basé sur la simulation d'un laser à base de GaN pour deux valeurs de l'épaisseur de la couche active (5nm et 10nm). La simulation se fait par le logiciel SILVACO TCAD.

Chapitre I I

Les diodes lasers

II- GENERALITES SUR LES DIODES LASERS

II -1- Introduction:

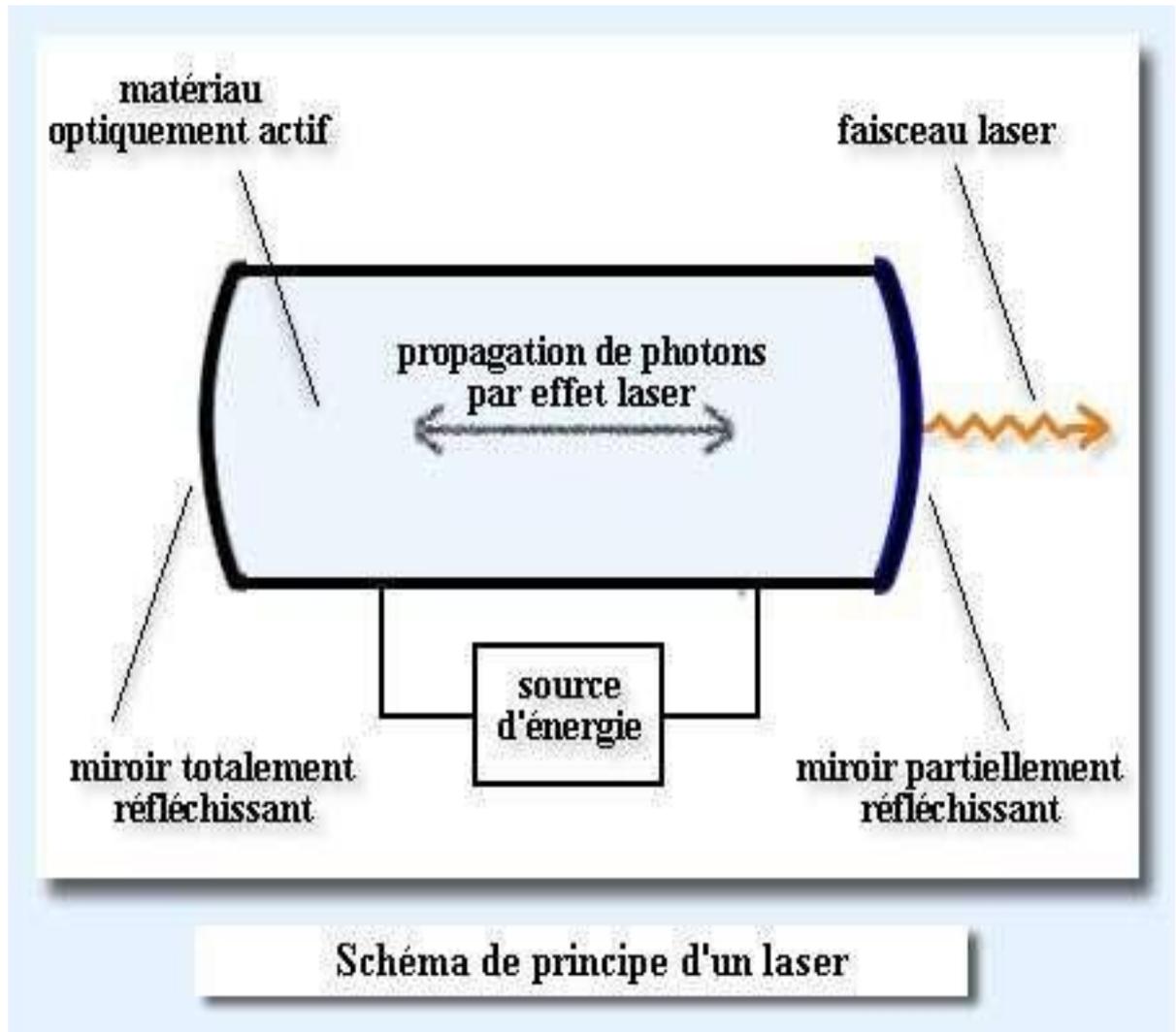
Les travaux fondamentaux d'Albert Einstein qui posèrent les bases théoriques pour la réalisation des masers (microwave amplification by Stimulated Emission of Radiation) et lasers (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) datent de plus de 50 ans. En effet, c'est en 1917 qu'il a publié ses fameux travaux sur l'absorption et l'émission de la lumière où il mentionne les différences entre émission spontanée et émission stimulée. En 1954, Townes, Gordon et Zeiger construisent le premier oscillateur maser à NI à émission stimulée, et trois ans plus tard, le premier amplificateur maser dans le domaine des ondes millimétriques est réalisé presque simultanément par Bloembergen aux Etats Unis et par Prokhorov et Basov en Union Soviétique.

Le principe de l'amplification électronique quantique est étendu au domaine optique (laser) dans les travaux de Townes et Schawlow, et ils montrent la possibilité théorique de produire de la lumière cohérente par émission stimulée dans un résonateur optique. En 1960, Maiman (Etas Unis) réalise le premier oscillateur laser dans un cristal de rubis, et dans la même année le premier laser à gaz voit le jour, réalisé par Javan et Bennet. En 1958 déjà Basov propose un laser à semi-conducteur (diode laser ou laser à injection), qui se réalise en 1962 parallèlement dans les laboratoires de général Electric, IBM et au MIT. [1]

Dans un laser à semi-conducteur, la lumière induit ce qu'on appelle la recombinaison électron-trou. L'électron se désexcite de la bande de conduction vers la bande de valence et émet un photon de caractéristique identique au photon inducteur. Pour accroître l'intensité de sortie de ses lasers, il faut augmenter la densité de porteurs, c'est –à-dire d'électron et de trou, ce qui conduit à l'inversion de population des lasers, elle est réalisée dans une zone du semi-conducteur appelée zone active, par injection d'un courant qui est équivalent au pompage des autres lasers. [4]

II -2- Principe du Diode Laser:

Les trois principales composantes d'un laser sont les suivantes: un milieu actif et un mécanisme de pompage et un résonateur optique [4]. Un système laser peut être schématisé de la façon suivante:



Du point de vue atomique, il existe trois types de réactions photoniques possibles :

II -2-1- Absorption inter bande:

Lors de l'absorption, un photon incident est absorbé par un électron de la bande de valence qui passe alors à la bande de conduction (figure 1). Pour que ce phénomène se produise, il faut que le photon incident ait une énergie supérieure à la bande interdite. Le phénomène laisse un trou dans la bande de valence. C'est ce phénomène qui sert de pompage optique ou électrique, dans certaines sources de rayonnement et il est aussi le mécanisme utilisé pour l'opération des photos détectrices. [4]

La transition de l'état E_1 à l'état E_2 (par l'électron) se fait par l'absorption d'un photon d'énergie, $E_2 - E_1 = h\nu$ avec h est la constante de Plank

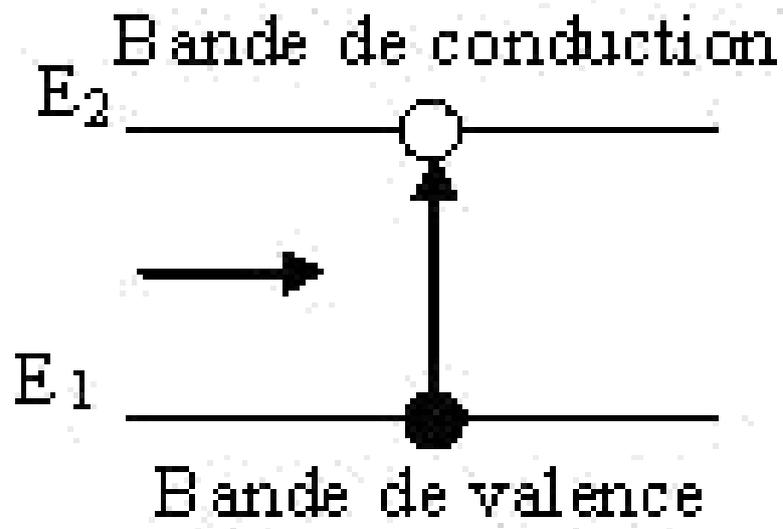


Figure 1: Schéma de l'absorption inter bande

II -2-2- Emission spontanée:

L'émission spontanée est une recombinaison radiative résultant d'une transition électronique de bande à bande (figure 2). Cette radiation est une émission isotrope (i.e. dans toutes les directions) et incohérente (l'émission est faite avec une phase arbitraire et même fluctuante). L'énergie du photon émis est celle qui correspond à l'énergie de la bande interdite. Dans les gaz, les niveaux atomiques sont bien définis et la radiation émise sera d'une énergie précise ou d'un spectre d'allure monochromatique. Par contre, dans les semi-conducteur, l'état excité de l'électron se trouve dans la bande de conduction. On a alors affaire à une distribution d'état qui produiront un spectre d'émission beaucoup plus étalé, il y a une densité d'états dans la bande de conduction, de sorte que le spectre d'émission est en général élargi. L'émission spontanée se produit dans 10^{-8} à 10^{-9} S après l'excitation. C'est ce type d'émission qui domine dans les diodes électroluminescentes et aussi dans les diodes laser sous le seuil d'oscillation. [4]

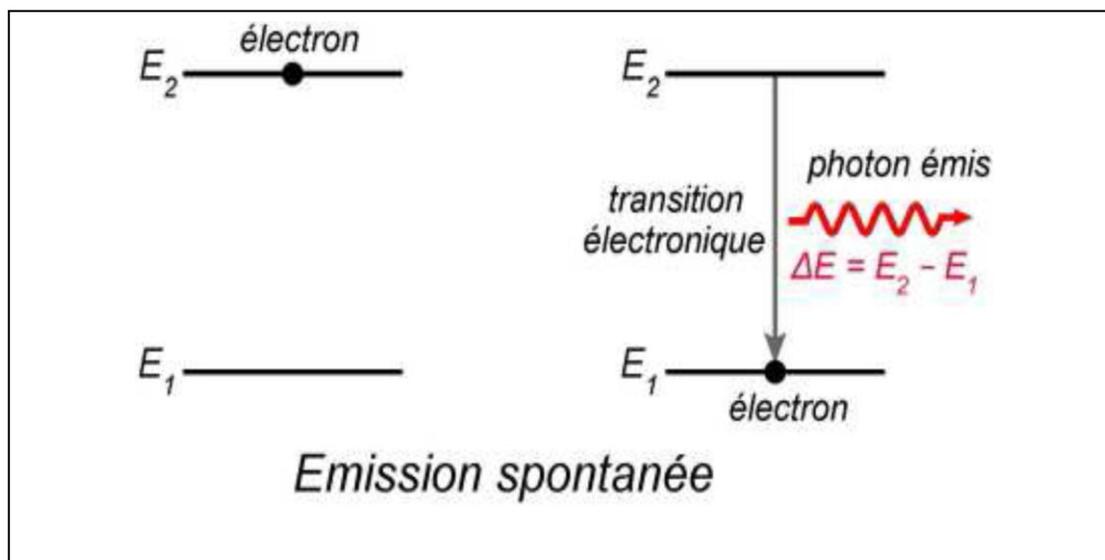


Figure 2: Schéma de l'émission spontanée

II -2-3 Emission stimulée:

La transition entre les états électroniques peut être stimulée par la présence d'une radiation électromagnétique qui a une énergie $E = h\nu$ au moins aussi grande que l'énergie de la bande interdite E_g ou h est la constante de Planck. Dans ce cas, le photon incident provoque la recombinaison de la paire électron-trou. Pour qu'il y ait émission stimulée, il faut d'abord un matériau avec des niveaux d'énergie appropriés occupés par un grand nombre d'électrons, un

Chapitre 2 Les diodes lasers

mécanisme d'excitation et une "pompe" pour monter les électrons au niveau d'énergie supérieur de façon efficace. Cela a pour effet de créer une inversion de population.

Finalement, la présence de radiation en situation d'inversion de population produira l'émission stimulée. Le photon fait vibrer l'électron qui se désexcite en émettant un photon identique au photon incident dans le processus, on passe de un à deux photons qui iront, chacun à leur tour, produire d'autre photon jumeaux et le processus dans une réaction en chaîne. [5]

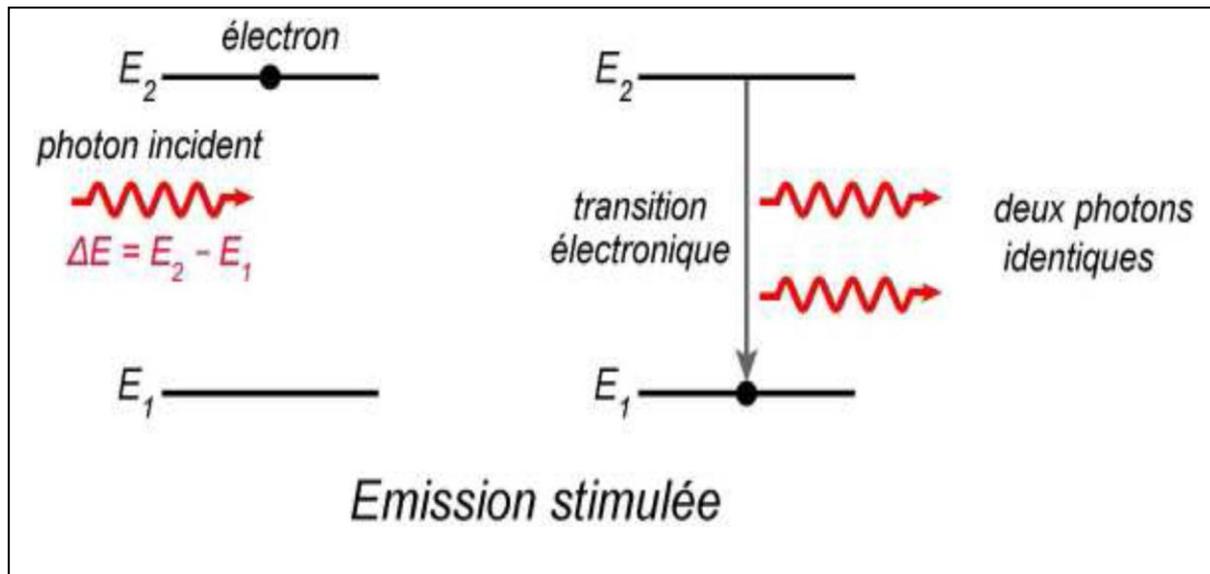


Figure 3: Schéma de l'émission stimulée

II -3- L'inversion de population:

L'émission stimulée d'un atome ou d'une molécule produit un nouveau photon qui a exactement les mêmes fréquences, phase et direction que le photon incident dans un laser, cela se fait à grande échelle, sur un très grand nombre d'atomes ou molécules identique.

C'est pourquoi un laser a la particularité d'émettre une onde lumineuse intense dont la direction, la fréquence et la phase sont très bien déterminées. il s'agit d'une lumière dite cohérente, qui émet de nombreuses ondes de fréquences et phase diverses et ce dans toutes les directions.

Mais pour obtenir un effet d'émission stimulée sur un grand nombre d'atomes ou molécules, il faut fournir de l'énergie au milieu matériel afin que ses atomes ou molécules soient pour la plupart dans un niveau d'énergie excité E_2 , et non dans leur niveau fondamental E_1 . C'est ce qu'on appelle effectuer une inversion de population, car à l'équilibre thermodynamique la majorité des atomes se trouvent au contraire dans l'état d'énergie le plus bas plus précisément,

Chapitre 2 Les diodes lasers

Le rapport des populations N_2 et N_1 des niveaux E_2 et E_1 vaut, à l'équilibre thermodynamique à la température absolue T :

$$N_1/N_2 = g_1/g_2 \exp\left[-(E_1 - E_2)/k_B T\right] \quad (16)$$

Où k_B est la constante de Boltzmann, g_1 et g_2 sont les dégénérescences (le niveau peut alors être considéré comme un ensemble de g_i sous-niveaux de même énergie).

Le mécanisme précis aboutissant à l'inversion de population fait intervenir un ou plusieurs niveaux d'énergie intermédiaires entre E_1 et E_2 . De plus, le niveau excité E_2 doit être suffisamment stable pour que l'émission spontanée ne se produise pas trop rapidement, autrement, celle-ci devancerait l'émission stimulée et l'on n'obtiendrait pas une onde lumineuse cohérente. [6]

II – 4- L'effet laser:

L'inversion de population étant réalisée (par excitation lumineuse- on parle dans ce cas de – "pompage optique" - ou électrique). Lorsque l'un des atomes excités émet un photon de fréquence $\nu = (E_2 - E_1)/h$ par émission spontanée. En arrivant sur un autre atome excité, ce photon va déclencher une émission stimulée, à l'issue de laquelle on obtient deux photons identiques et en phase. Ces deux photons vont à leur tour donner lieu à deux émissions stimulées, d'où deux nouveaux photons. Et ainsi de suite : le nombre de photons identiques et en phase qui traversent le milieu se multiplie très rapidement. C'est l'effet laser, c'est-à-dire l'amplification du rayonnement. [5]

II – 5- Amplification:

Pour obtenir l'action laser, il faut favoriser l'émission stimulée le plus possible. Rappelons que pour que l'émission soit stimulée il faut une inversion de population et la participation de photon pour déclencher ou stimuler l'émission. Plus il aura de photon déclencheurs, plus l'émission stimulée sera importante. On a donc intérêt à utiliser un médium actif générateur de photon ; on dit alors qu'il y a du gain parce que chaque photon incident aura une probabilité importante de générer d'autres photons par émission stimulée et de plus, on a intérêt à recycler les photons, c'est-à-dire de les faire passer plusieurs fois dans le milieu actif : on configure le laser en résonateur où chaque photon repasse dans le milieu actif un grand nombre de fois. Pour le laser à semi-conducteur, si l'on considère une structure des plus simples, un laser à semi-conducteur est un émetteur latéral (donc une diode électroluminescente). Avec des facettes réfléchissantes obtenues en clivant le cristal. [7]

II – 6- Pompage:

Le pompage permet d'amener une majorité de particules à l'état excité (Excitation optique décharges électriques...) Il y a ensuite accumulation d'électrons sur le niveau métastable, c'est l'inversion de population. Celle-ci favorise l'émission stimulée. [8]

II – 7- Caractéristiques d'un faisceau laser:

La lumière laser ainsi produite aura les caractéristiques suivantes du fait de sa production par émission stimulée :

- mono chromaticité (même longueur d'onde).
- cohérence spatiale et temporelle (Deux photon oscillent en même temps et de la même manière).
- directivité (le faisceau unidirectionnel).
- faible divergence.

II – 8- Principe de la source Diode Laser:

Le principe de la source diode laser consiste en premier lieu à exciter les électrons d'un milieu, puis à y déclencher l'émission stimulée de photons. Pour cela, un laser possède un réservoir d'électrons (ce réservoir peut être solide, liquide ou gazeux) associé à une source excitante qui « pompe » les électrons à de hauts niveaux d'énergies. Dans un second temps, un photon est injecté dans le milieu ce qui produit, pendant la désexcitation d'un des atomes, un deuxième photon identique. Ces deux photons produisent à leur tour deux autres photons identiques pendant la désexcitation de deux autres atomes. Ces quatre photons etc. C'est une réaction en chaîne. Outre l'intensification du rayon laser, ce phénomène consomme très rapidement les atomes excités, qu'il est difficile de reconstituer aussi vite : il est donc très difficile de faire fonctionner un diode laser en mode continu, en pratique les lasers fonctionnent en mode par impulsions (mais on peut obtenir des « rafales » tellement dense que la différence avec un mode continu est peu sensible).

Dans un laser, le photon de stimulation (et donc la lumière de sortie) est d'une nature (énergie) différente des photons utilisés pour le pompage optique : dans le cas contraire, au lieu de produire une excitation des atomes les photons de pompage pourraient provoquer une émission stimulée, avec globalement un rendement nul. Typiquement, la diode laser joue sur trois niveaux d'énergie : le pompage fait passer les atomes du niveau le plus bas au niveau le plus élevé, les atomes passent spontanément à un niveau intermédiaire (ce qui évite

Chapitre 2 Les diodes lasers

l'émission stimulée par la lumière de pompage), et c'est le retour du niveau intermédiaire vers le niveau le plus bas qui est stimulé avec production du rayon laser. [8]

II – 9- Le rayonnement Laser:

Le rayonnement laser est accumulé entre deux surfaces réfléchissantes, qui forment ce qu'on appelle une cavité résonante, avant de le relâcher sous forme de faisceau. Deux miroirs, dont l'un semi réfléchissant, situés aux extrémités du laser se renvoient les photons émis, donc la réaction en chaîne ne s'arrête pas lorsqu'on arrive au bout du réservoir d'électron, on les renvoie dans le réservoir et la chaîne se poursuit dans l'autre sens. Ainsi la lumière s'intensifie à chaque passage jusqu'à ce qu'elle soit libérée par le miroir partiellement transparent à l'extrémité du dispositif pour certaines applications très énergétiques, le faisceau émis traverse des amplificateurs complémentaires associés à des dispositifs optiques complexes permettent des expériences scientifiques de recherche fondamentale ou des applications industrielles (soudure, découpages, gravure.....) [9]

II – 10 -Les différents types de DIODES LASER:

Nous venons de voir comment il était possible d'augmenter la puissance du rayon laser. Cependant, si on assimile le faisceau laser à un jet continu tel qu'un jet d'eau, pour augmenter l'efficacité de ce jet deux paramètres peuvent influencer : il s'agit de la pression (intensité) du flux, et de sa température. Pour la diode laser les paramètres sont les mêmes. Il y a donc la puissance du faisceau (voir ci-dessus), et l'énergie individuelle des particules projetées, qui influent sur son agressivité face aux tissus. Ainsi pour obtenir des énergies individuelles par photon différentes il existe plusieurs types de milieux diodes lasers : Solides, liquides, gazeux.

a- Milieux solides: Constitués de cristaux (notamment des cristaux de rubis ou des verres dopés au néodyme). Ce sont les milieux qui permettent d'obtenir la plus grande puissance utile. Ils génèrent le plus souvent des rayons discontinus et brefs. Leur pompage s'effectue par des flashes électroniques au xénon, des lampes à arc ou des lampes à vapeur métallique.

b- Milieux liquides: Ils sont généralement faits de colorants enfermés dans un récipient en verre. Le pompage s'effectue par flashes discontinus ou par un laser auxiliaire en continu. Dans ce type de milieu, la longueur d'onde peut être ajustée à l'aide d'un prisme placé dans le récipient.

c- Milieu gazeux: Milieu gazeux qui peut être un gaz pur, un mélange de gaz, ou un métal chauffé à l'état de vapeur. Le pompage du milieu peut être obtenu par rayonnement ultraviolet ou par bombardement d'électrons. Le plus répandu est le laser à dioxyde de carbone qui génère de fortes puissances en mode continu.

II – 11- Les DIODES LASER à semi-conducteurs:

Les Diodes lasers à semi-conducteur fonctionnent sur un principe qui totalement différent par rapport aux diodes lasers évoqués dans les pages précédentes. Les états excités ne sont pas indépendants les uns des autres et conduisent à la notion de bandes d'énergie. La lumière induit la recombinaison électron-trou. Un électron se désexcite depuis la bande de conduction vers la bande de valence en émettant un photon de caractéristiques strictement identiques au photon incident. En augmentant le nombre d'électrons et de trous, on augmente la densité de porteur donc l'intensité du laser. Ce mécanisme ressemble à l'inversion de population utilisée par les autres types de la diode lasers. La pompe est ici remplacée par injection d'un courant dans la zone active du milieu. L'effet laser se produit entre deux bandes d'énergie (de conduction et de valence) séparées par l'énergie de Gap (E_g). Cette bande interdite induit directement la valeur de la longueur d'onde en sortie. La densité d'inversion de population étant importante, le gain est très grand et les dimensions de la cavité diminuent (moins de un millimètre). [6]

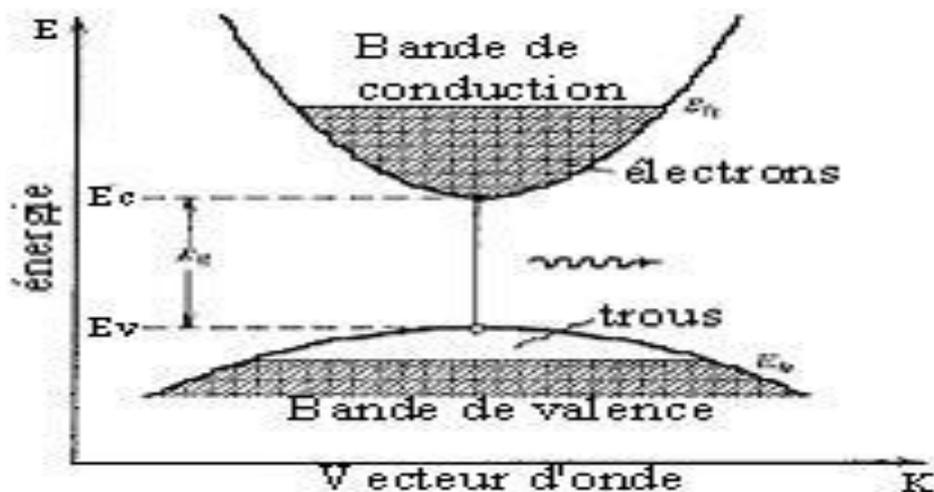


Figure 4: La bande conduction et la bande de valence d'un semi-conducteur

A sa découverte en 1962, les applications étaient très limitées car le fonctionnement en régime continu et à température ambiante de tels lasers n'était pas possible. En 1968, la réalisation de l'hétérojonction AlGaAs/GaAs, son faible volume, sa compatibilité avec les fibres optiques, son rendement de conversion élevé (entre 40 et 50%) et son moindre coût (réalisable en grande quantité) en font le laser le plus fabriqué et le plus utilisé dans le monde. Sa puissance est pourtant faible, sa cohérence et sa divergence sont médiocres et longueur d'onde est extrêmement sensible à la température. Certains domaines comme la

Chapitre 2 Les diodes lasers

télécommunication optique utilisent ce laser en régime impulsionnel (quelques picosecondes). Dans ce cas, le pompage est réalisé directement par une faible injection de courant. Le Tableau 1 résume le parallèle qui peut être établi entre le LSC et les autres types de lasers. [4]

LSC	Autres lasers
Bande de conduction et de valence	Niveaux d'énergie atomique
Densité de porteurs	Densité d'inversion de population
Injection d'un courant	pompage

Tableau 1: Comparaison des LSC avec les autres types de lasers

II – 12- structures de diode laser:

Du point de vue du confinement latéral, on distingue principalement les structures suivantes:

II-12-1 -Structure large:

La première structure obtenue a été celle du laser à structure large (fig 5). Dans ces lasers, le courant est injecté de façon uniforme dans toute la région de jonction. Ce type de laser est facile à fabriquer et est souvent utilisé de nos jours pour une évaluation rapide de la qualité du cristal. Par contre, ces lasers ont l'inconvénient d'avoir besoin de courants d'injection élevés et l'effet laser en continu à la température ambiante est difficile à obtenir. [6]

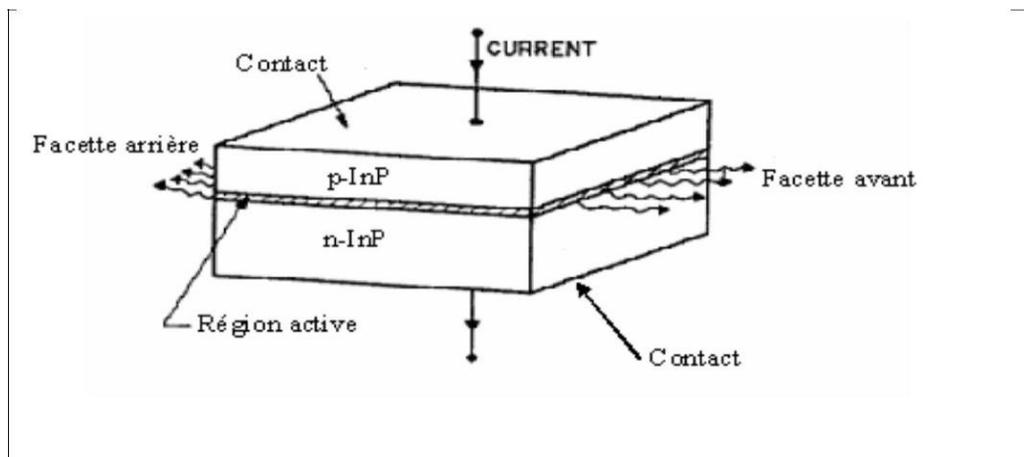


Figure 5 : Laser à structure large.

II-12-2- Structure ruban:

On en est rapidement venu à la structure ruban (fig 6) pour réduire le courant d'injection total, tout en gardant une haute densité de courant localement. Ce fut un développement technologique important. On définit un contact ayant la forme d'un ruban étroit, de quelques microns de large, au centre du dispositif sur toute sa longueur.

Sous le ruban, la région active aura des dimensions similaires et une épaisseur d , celle de la région active. à la facette, l'émission se fera par une fenêtre de dimensions $S \times d$. Les structures ruban sont meilleures que les structures larges tant du point de vue contrôle des modes que du point de vue linéarité et stabilité à température ambiante. [5]

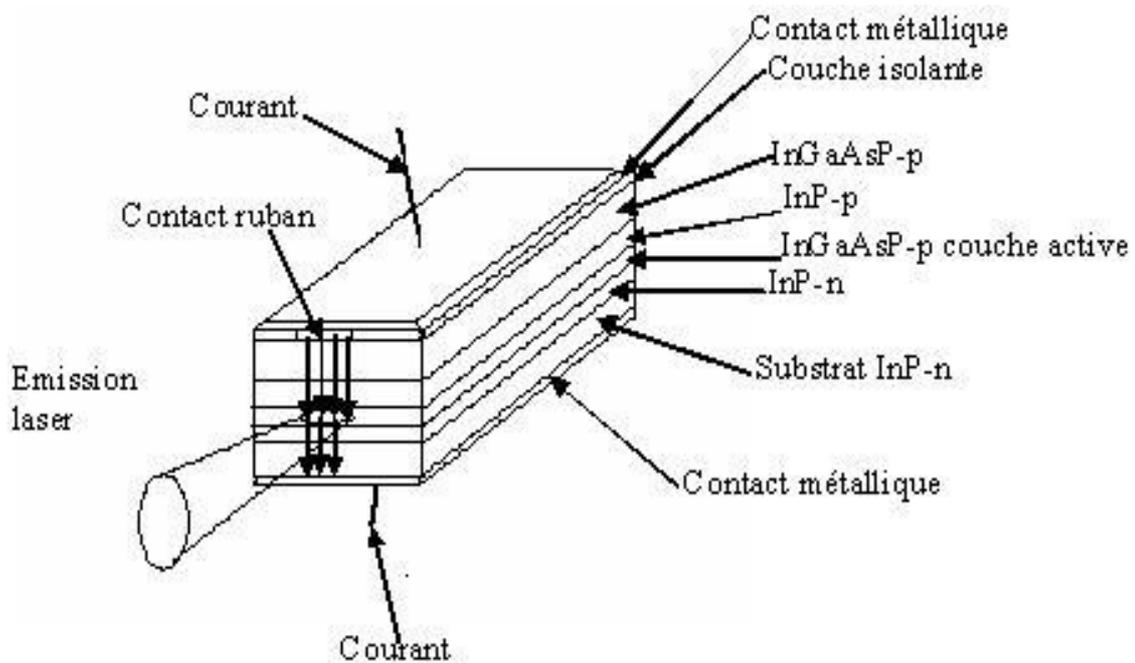


Figure 6 : Laser à structure ruban

III-1-Introduction

Ce travail rapporte les effets de la largeur du puits quantique sur le gain matériel et la longueur d'onde laser de la nanohétérostructure laser **In(1-x)Ga(x)N/GaN** basée sur une conception simple SCH (Separate Confinement Heterostructure). Les études réalisées dans ce travail sont orientées vers la modélisation en fonction de la largeur du puits de la nano-hétérostructure laser **In(1-x)Ga(x)N/GaN** et la simulation des caractéristiques laser telles que le gain de matière, le gain différentiel et la puissance émise. Les résultats des travaux rapportés dans ce travail suggèrent que le gain matériel et la longueur d'onde laser peuvent être contrôlés en variant la largeur du puits quantique pris en sandwich entre les barrières suivies par des gaines dans la nanostructure. Puisque le gain de matériau maximal a été atteint à une longueur d'onde de 0.480 μm pour une largeur minimale de puits quantique (5 nm) en mode TE; par conséquent, la nano-hétérostructure à base **In(1-x)Ga(x)N/GaN** avec une largeur de puits de 5 nm peut être très utile dans le domaine de la nano-optoélectronique [10.11].

III-2-Détail de la structure et théorie

Le modèle global de la nano-hétérostructure de confinement séparé (SCNH) de la composition du matériau **In(1-x)Ga(x)N/GaN** peut être considéré comme consistant en un seul puits quantique d'une épaisseur de (5nm) (quantique ou région active) qui se contracte entre deux couches de barrière large bande interdite (épaisseur 140nm) de matériau **In(1-x)Ga(x)N/GaN** suivies d'une gaine du matériau **GaN**. Les compositions des barrières et la région active sont prises différemment afin d'avoir des bandes interdites et des indices de réfraction différents. La bande interdite des barrières est maintenue plus petite que celle des gaines tandis que l'indice de réfraction est plus grand pour les barrières et plus petit pour les gaines. La nano-hétérostructure globale est supposée être cultivée sur substrat **GaN** pseudo morphiquement, comme le montre la figure 1.

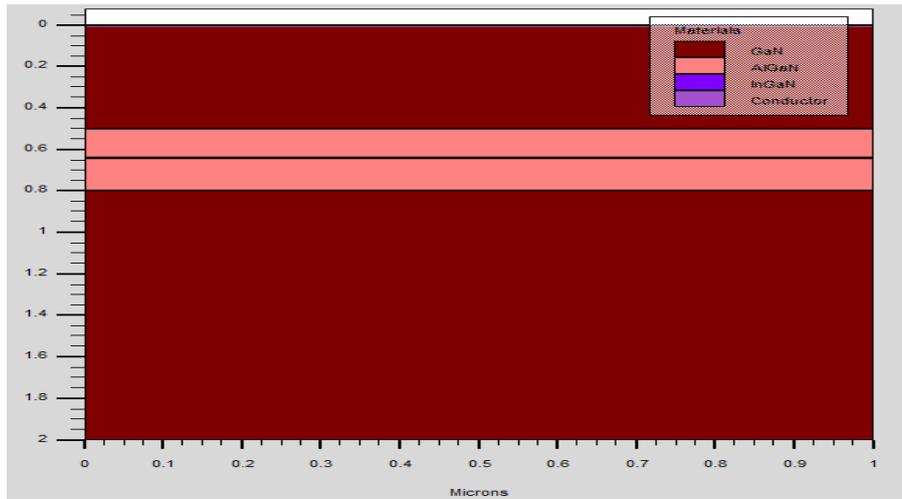
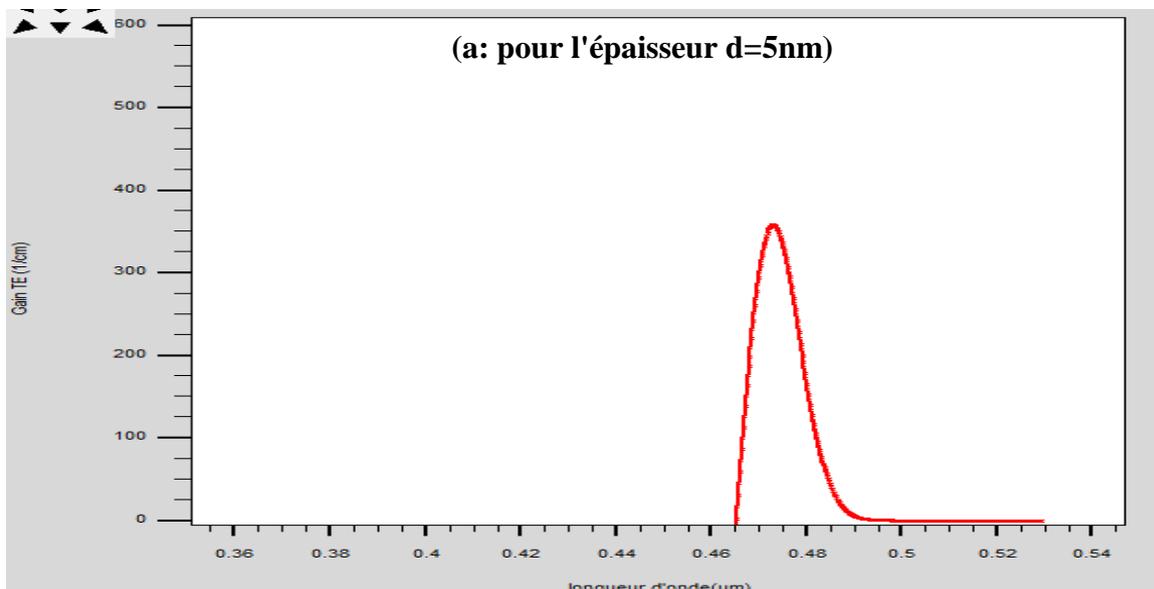


Figure 1. Le model SCH pour un laser bleu nano-hétérostructure $\text{In}(1-x)\text{Ga}(x)\text{N}/\text{GaN}$

III-2-Résultats et Discussion

L'étude du spectre d'un puits quantique dans la nano-hétérostructure est essentielle à la conception et à la mise en œuvre de dispositifs nano-optoélectroniques. Dans le cas de l'hétérostructure, les différences les plus importantes entre la région active (puits quantique) et les barrières se situent généralement dans l'énergie la bande interdite et l'indice de réfraction. Les différences de bande interdite permettent un confinement spatial des porteurs injectés (électrons et trous), mais les différences d'indice de réfraction peuvent être utilisées pour former des guides d'ondes optiques, donc, dans notre travail nous supposons l'indice de réfraction pour la région active et les barrières constante et réel [10,11].

Le comportement de laser bleu à puits quantique $\text{In}(1-x)\text{Ga}(x)\text{N}/\text{GaN}$ de différentes largeurs (5nm et 10nm) ont été représentées dans la figure2:



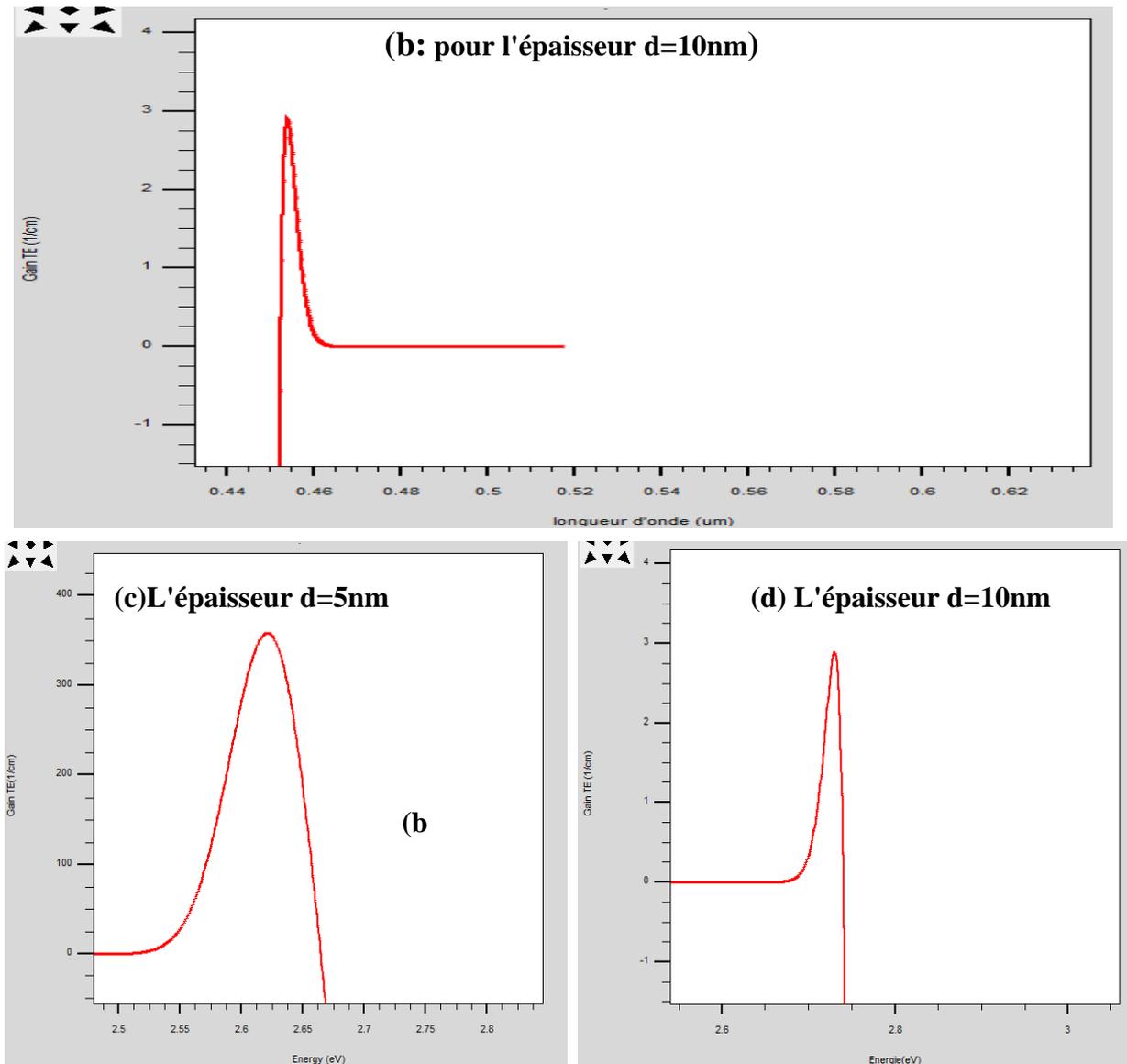


Figure 2: l'effet de l'épaisseur sur le gain d'un laser $\text{In}(1-x)\text{Ga}(x)\text{N}/\text{GaN}$ nano-hétérostructure

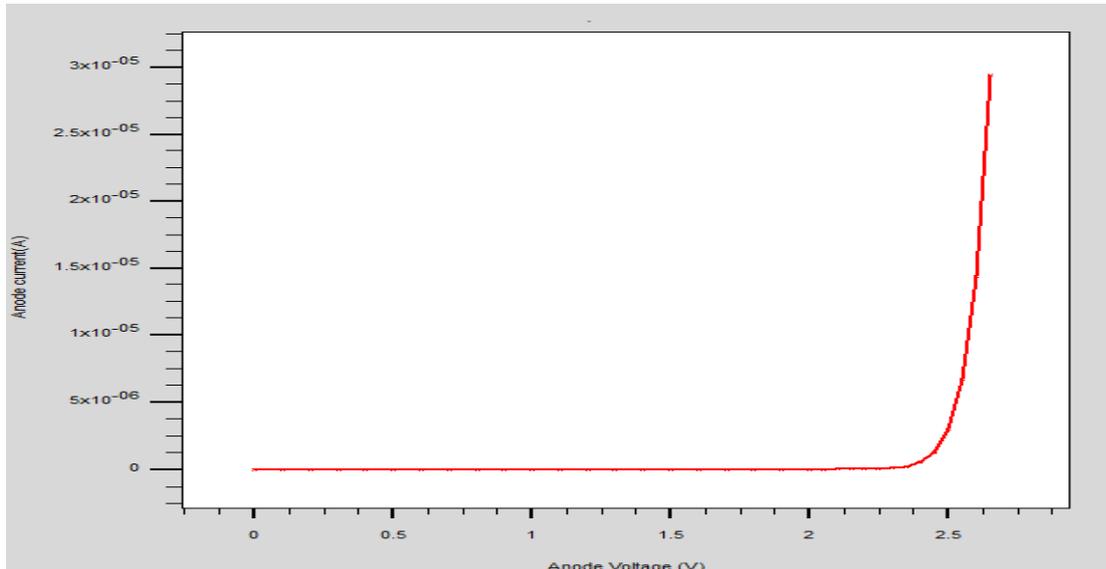
La dépendance de gain et l'épaisseur de puits quantique en termes de longueur d'onde laser a été étudiée et représentée sur la figure 2. Sur la figure 2, les spectres de gain en mode TE de la nano-hétérostructure laser $\text{In}(1-x)\text{Ga}(x)\text{N}/\text{GaN}$ ayant un seul puits quantique de largeurs différentes (5 et 10 nm) ont été prédites. Ces spectres de gain ont été simulés pour une densité de porteurs de $2 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ et à une température d'environ 300K. Sur la figure 2, on peut voir que le gain maximum diminue avec l'augmentation de la largeur du puits quantique unique pris en sandwich entre les barrières.

Après avoir étudié les spectres de gain en termes de longueur d'onde laser, on constate que la nano-hétérostructure ayant un puits quantique de 5 nm est plus adaptée car elle fournit une longueur d'onde laser de $0.48\ \mu\text{m}$.

Depuis, le gain maximal de matière a été atteint à une longueur d'onde de $0.48 \mu\text{m}$ pour une largeur minimale de puits quantique (5 nm) avec en mode TE.

Caractéristiques I-V d'une diode laser bleu à puits quantique

Pour l'épaisseur de la couche active ($d=5\text{nm}$)



Pour l'épaisseur de la couche active ($d=10\text{nm}$)

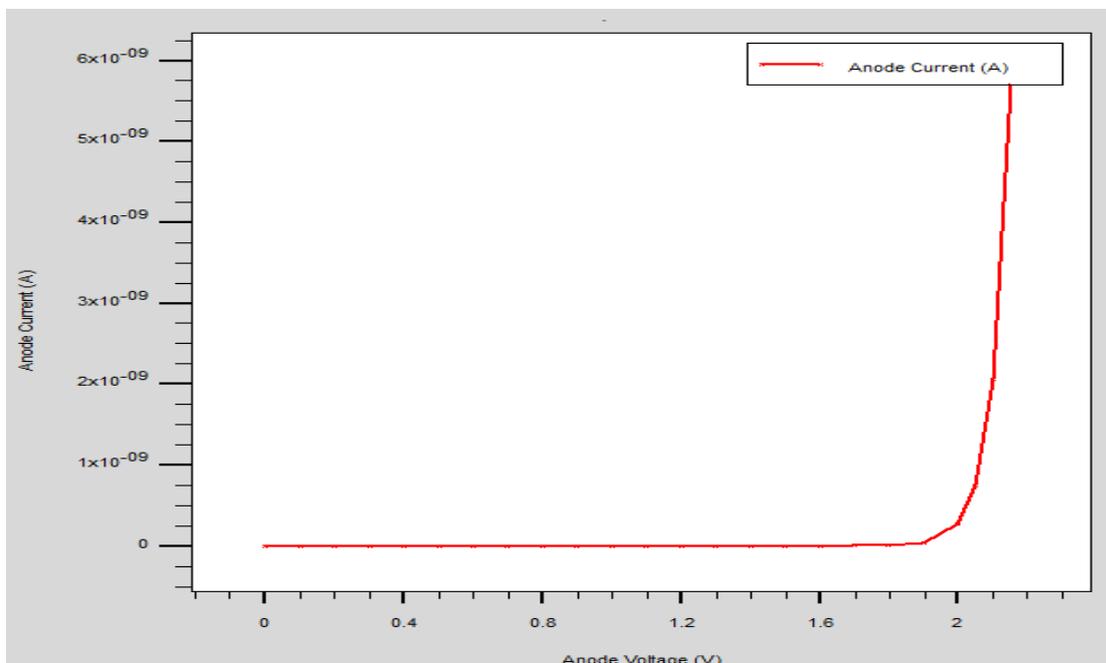


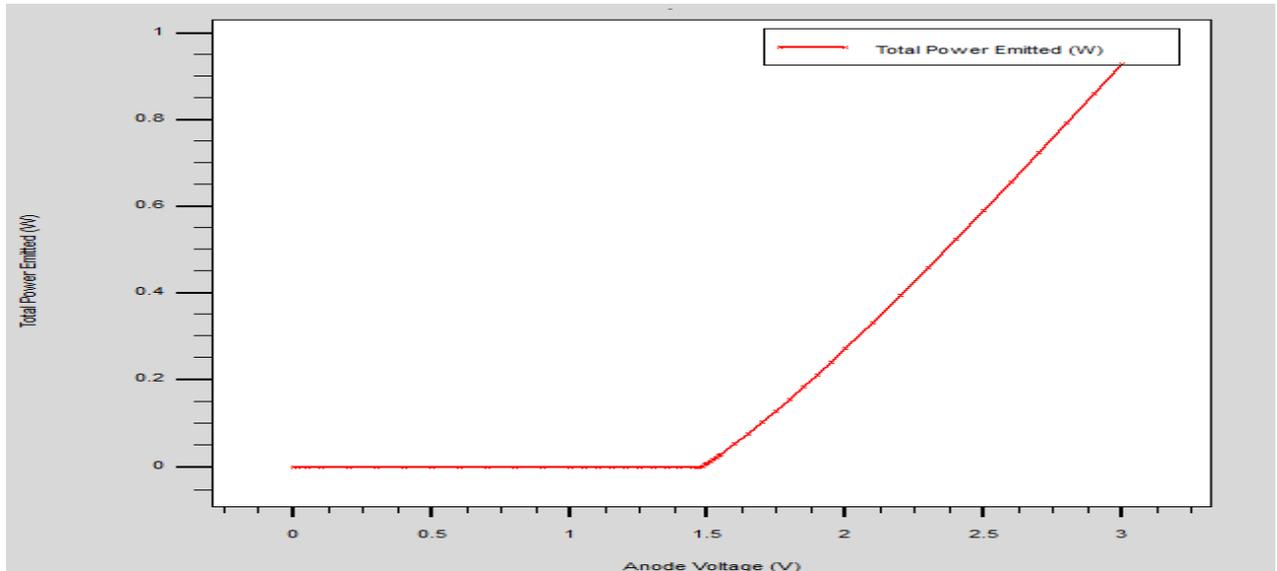
Figure 3: représente l'effet de l'épaisseur de la couche active sur les caractéristiques I-V

Pour l'effet de l'épaisseur de la couche active sur les caractéristiques I -V on remarque que cette effet sur la tension de seuil moins dans le cas $d=10\text{nm}$ que celle dans le cas de $d=5\text{nm}$;

a partir de cette tension notre diode laser est passant et commencement de l'émission de la lumière laser.

La puissance totale d'émission

Pour $d=5\text{nm}$



Pour $d=10\text{nm}$

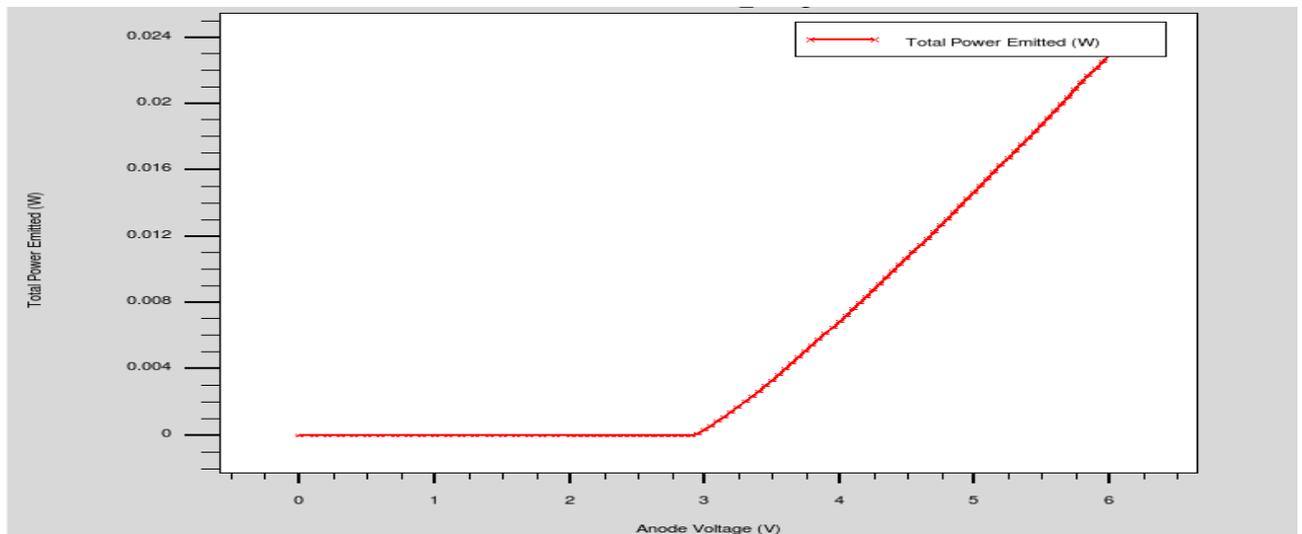


Figure 4: représente la puissance totale d'émission pour deux valeurs d'épaisseur

Pour : (a)- $d=10\text{nm}$ et (b)-pour $d=5\text{nm}$

On remarque que pour l'augmentation de l'épaisseur de la couche active il y a une augmentation sur la tension de seuil qui a partir de cette valeur on va voir l'effet laser; pour $d=5\text{nm}$; Seuil=1.5V et pour $d=10\text{nm}$; Seuil=3V, et aussi la puissance totale est mieux pour $d=5\text{nm}$ que celle pour $d=10\text{nm}$.

Conclusion

L'objectif principal de ce travail, est la simulation des caractéristiques électriques et optiques d'une diode Laser à semi-conducteur ; Afin de maîtriser le comportement de ce composant.

Les propriétés optiques de la diode laser sont modélisées à l'aide de l'équation d'évolution de la densité des photons qui déterminent la puissance lumineuse émise par la diode laser.

A partir de traces obtenues par la simulation de la diode laser on a conclu que pour l'augmentation de l'épaisseur de la couche active il y a une augmentation sur la tension de seuil et aussi la puissance total est mieux pour l'épaisseur plus moins.

Conclusion générale

Dans ce travail, les effets de la largeur de puits quantique sur le gain du matériau et la longueur d'onde laser de la nano hétérostructure à laser SCH $\text{In}(1-x)\text{Ga}(x) / \text{GaN}$ ont été discutés. Les études réalisées dans ce travail sont orientées vers la modélisation en fonction de la largeur du puits de la nano-hétérostructure laser $\text{In}(1-x)\text{Ga}(x) / \text{GaN}$ et la simulation des caractéristiques laser telles que le gain, les caractéristiques I-V, puissance totale d'émission et la longueur d'onde [10,11].

Les résultats des travaux rapportés dans cette mémoire suggèrent que le gain et la longueur d'onde laser peuvent être contrôlés en variant la largeur du puits quantique pris en sandwich entre les barrières suivies par des gaines dans la nanostructure. Depuis, le gain maximal de matière a été atteint à une longueur d'onde de 0.480 μm pour une largeur minimale de puits quantique (5 nm) avec en mode TE; et en point de vue technologique cette technique est simple que la technique de variation le pourcentage de la fraction molaire (x), juste on fait le contrôle sur temps de déposition des couches épitaxiales.

Bibliographie

- [1] mémoire de Magister en physique par Dehimi Said « Etude de lasers à base des composés Semi-conducteurs »
- [2] Henry Mathieu. Physique des semi-conducteurs et des composants électroniques.
- [3] Gerald Bastard, Wave mechanics applied to semiconductor heterostructures.
- [4] D. Dangoisse, D. Hennequin et V. Zehnlé-Dhaoui, Les lasers.
- [5] ROMAIN MACIEJKO, Optoélectronique, Montréal, Presse internationale Polytechnique, 2002.
- [6] R. Dändliker les lasers, principe et fonctionnement.
- [7] Thèse Alain Champagne, Modélisation des lasers InGaAsP-InP à double.
- [8] Luc Dettwiller, Les lasers et leurs applications, Paris, ellipses, 1998.
- [9] Mark Csele, FUNDAMENTALS OF LIGHT SOURCES AND.
- [10] Rashmi Yadav, Pyare Lal, F. Rahman, S. Dalela, P. A. Alvi1, Well Width Effects on Material Gain and Lasing Wavelength in InGaAsP / InP Nano-Heterostructure. Journal of Optoelectronics Engineering, 2014, Vol. 2, No. 1, 1-6.
- [11] Pyare Lal , Shobhna Dixit , S. Dalela , F. Rahman , P.A. Alvi Gain simulation of lasing nano-heterostructure Al_{0.10}Ga_{0.90}As/GaAs. Physica E 46 (2012) 224–231.

ملخص

يعالج هذا الموضوع تأثير سمك المنطقة النشطة لليزر الازرق على طول الموجة المنبعثة، الاستطاعة المنبعثة وكذلك الخصائص الكهربائية لهذا الليزر، وهي تقنية سهلة مقارنة مع تغير النسبة x في المادة المكونة للمنطقة النشطة ($In_xGa_{1-x}N/GaN$) لليزر الازرق.

الكلمات المفتاحية: الليزر الازرق، المنطقة النشطة، طول الموجة، الاستطاعة المنبعثة، الخصائص I-V

Résumé

Ce sujet traite de l'effet de l'épaisseur de la région active du laser bleu sur la longueur de la longueur d'onde émise, la puissance émise ainsi que les propriétés électriques de ce laser, qui est une technique facile par rapport au changement du rapport x dans le matériau qui compose la région active du laser bleu $In_xGa_{1-x}N / GaN$.

Mots clés: laser bleu, région active, longueur d'onde, puissance d'émission, caractéristiques I-V

Summary

This topic deals with the effect of the thickness of the active region of the blue laser on the length of the emitted wavelength, the emitted power as well as the electrical properties of this laser, which is an easy technique compared to the change of the x ratio in the material that composes the active region of the blue laser $In_xGa_{1-x}N / GaN$.

Key words: blue laser, active region, wavelength, emitting power, I-V characteristics.