

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique



Université Abderrahmane Mira

Faculté de Technologie



Département d'Automatique, Télécommunication et d'Electronique

Projet de Fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Télécommunications

Spécialité : Systèmes des télécom

Thème

Propriétés structurale et optique d'un émetteur en télécommunication

Préparé par :

BOURIHANE Leila

BELHADDAD Lina

Dirigé par :

M^{elle} ACHOUR Lyakout

Examiné par :

M^{me} HAMZAOUI

M^{me} BENDJELLOUL

Année universitaire : 2020/2021

Table des matières

Table des matières	i
Liste des figures	iv
Introduction générale	1
1. Les semi-conducteurs	
1.1. Introduction.	3
1.2. Les semi-conducteurs	3
1.2.1. Les semi-conducteurs intrinsèques.....	3
1.2.2. Les semi-conducteurs extrinsèques.....	3
1.3. Les bandes d'Énergie	4
1.4. La jonction P-N	5
1.5. Polarisation de la jonction P-N	5
1.6. Gap direct et gap indirect.	6
1.7. Hétérostructures à base des semi-conducteurs III-V GaAs/ AlAs.	7
1.7.1. Puits quantiques.....	7
1.7.2. L'hétérojonction AlGaAs/GaAs.....	8
1.8. Propriétés des matériaux III-V	9
1.8.1. Les composés binaires.....	9
1.8.2. Les composés ternaires	9
1.8.3. L'alliage $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$	10
1.9. Paramètre de réseau des matériaux III-V	10
1.10. Propriétés optiques.	11

1.10.1. L'indice de réfraction	11
1.10.2. L'absorption.....	11
1.11. Conclusion	11
2. Les lasers	
2.1. Introduction.....	13
2.2. Processus d'émission de la lumière.....	13
2.2.1. Absorption et extraction d'un atome	13
2.2.2. Emission spontanée.....	14
2.2.3. Emission stimulée.....	15
2.3. Principe de fonctionnement.....	15
2.3.1. Milieu amplificateur	16
2.3.2. Pompage.....	16
2.3.3. Cavité résonante	17
2.4. Conditions sur la cavité.....	18
2.4.1. Condition sur le gain.....	18
2.4.2. Condition sur la fréquence.....	20
2.5. Caractéristiques du faisceau laser	22
2.5.1. Courant de seuil	22
2.5.2 Directivité et divergence.....	23
2.5.3. Cohérence	24
2.5.4. Monochromaticité.....	24
2.6. Laser à semi conducteurs.....	24
2.7.. Conclusion.....	25
3. Simulation des caractéristiques d'un laser avec SILVACO ATLAS	
3.1. Introduction.....	26
3.2. Initiation à SILVACO.....	26
3.2.1. TCAD.....	27
3.2.2. ATLAS	27
3.2.3. Deckbuild.....	28

3.2.4.	TONYPLOT.....	30
3.2.5.	Travailler avec ATLAS.....	31
3.3.6.	Spécification de la structure	32
3.3.7.	Analyse et résultat	35
3.3.	résultats et discussions	35
3.3.1.	Puissance optique en fonction du courant P(I).....	36
3.3.2.	Puissance de sortie en fonction de la tension P(V) suivant les modes.....	37
3.3.3.	Variation du gain en fonction de la tension	38
3.3.4.	Variation de la densité de photons	39
3.3.5.	Intensité de la lumière laser dans la structure	40
3.4.	Conclusion	41
	Conclusion générale.....	42
	Références bibliographiques	43

Liste des figures :

Figure I.1 : Schéma des bandes d'énergies dans le cas d'un matériau isolant, semi-conducteur, conducteur, de gauche à droite.....	5
Figure I.2 : Schéma d'une jonction p-n.....	5
Figure I.3 : polarisation directe et inverse d'une jonction.....	6
Figure I.4: Structure de bande d'énergie du gap direct et indirect.....	7
Figure I.5: PQ carré d'un matériau semi-conducteur.....	8
Figure I.6: Schéma des bandes d'énergie d'un puit quantique.....	8
Figure I.7 : Diagramme de bandes d'énergie de l'hétérojonction AlGaAs/GaAs	9
Figure I.8 : Largeur de bande interdite et paramètre des principaux semi-Conducteurs.....	10
Figure II.1: Processus d'absorption.....	14
Figure II.2: Emission spontanée.....	15
Figure II.3: Emission stimulée	16
Figure II.4 : Schéma du principe de fonctionnement d'un laser	17
Figure II.5 : Echelle des Transissions énergétiques dans les atomes.....	18
Figure II.6 : Cavité résonante.....	19
Figure II.7 : Types de cavité.....	19
Figure II.8 : Puissance en entré et en sortie d'un milieu amplificateur	20
Figure II.9 : Effet des miroirs et du gain sur l'onde laser.....	21
Figure II.10 : Allure du spectre émis par le laser par rapport au spectre d'émission spontanée de la transition laser.....	22
Figure II.11 : Conditions sur le gain et la fréquence.....	23
Figure II.12 : Caractéristique puissance-courant d'un laser.....	24
Figure II.13 : Divergence du faisceau laser.....	25

Figure II.14 : Cohérence et incohérence.....	26
Figure II.15 : Structure de base d'une diode laser	27
Figure III.1: Schéma synoptique des modules utilisés dans la simulation par TCAD- SILVACO.....	28
Figure III.2: Fenêtre d'accès a Deckbuild.....	29
Figure III.3: Interface de Deckbuild.....	30
Figure III.4: Interface de TONYPLOT.....	31
Figure III.5: Exemple d'affichage graphique d'un résultat par « TonyPlot »..	33
Figure III.6: Structure du laser.....	34
Figure III.7: Maillage de la structure laser.....	35
Figure III.8: Variation de la puissance optique émise en fonction du courant	36
Figure III.9: Variation de la puissance optique émise en fonction de la tension selon les modes	37
Figure III.10: Variation du gain en fonction de la tension.....	38
Figure III.11: Variation de la densité de photons.....	39
Figure III.12: Intensité de lumière dans la structure.....	40

Introduction générale

Au cours du XXème siècle, des moyens de communication à distance se sont largement développés et évolués grâce aux câbles coaxiaux et aux liaisons hertziennes. Ces câbles coaxiaux ont constitué le matériau de base qui a permis de couvrir notre planète d'un vaste réseau de transmission de l'information [1]. Cependant, avec l'apparition des nouveaux services liés au développement du multimédia, le besoin d'un débit de transmission d'informations plus élevé est apparu. Une alternative au câble coaxial devait être proposée de manière à compenser les inconvénients comme les pertes, les distances de transmissions courtes et les limitations des performances. L'invention du laser en 1960 a permis d'envisager une alternative incontournable au câble coaxial et donc d'ouvrir la voie à une autre solution, à savoir celle des télécommunications optiques [2].

L'idée de transmettre l'information sur un support optique a vu le jour avec la découverte du laser qui a pris place dans notre vie, et s'est imposé comme l'une des découvertes technologiques majeures de la fin du XXème siècle [1]. Les lasers deviennent de plus en plus puissants et efficaces et ils ont trouvé une utilisation généralisée comme pompes pour les lasers à semi-conducteurs. Ce dernier nous réserve des propriétés remarquables et très intéressantes pour le domaine de l'optoélectronique.

La majorité des matériaux semi-conducteurs sont basés sur une combinaison d'éléments du troisième et du cinquième groupe du tableau périodique donc appelés composés III-V. Pour utiliser ces matériaux dans les composants électroniques et optoélectroniques on doit connaître leurs propriétés physiques. À travers les méthodes technologiques, les chercheurs ont pu préparer des alliages semi-conducteurs qui sont des mélanges de deux ou plusieurs éléments donnant naissance à des composés binaires, ternaires et quaternaires.

Actuellement, les progrès réalisés dans les domaines de l'optoélectronique et le développement des dispositifs microélectroniques, les matériaux semi-conducteurs III-V, binaires, ternaires et quaternaires, offrent une grande variété de propriétés électroniques et optiques pour choisir les applications technologiques particulières.

Lesdits semi-conducteurs présentent des propriétés optiques adaptées à la réalisation des dispositifs modernes tel que les cellules solaires, les diodes lasers, les détecteurs infrarouges, les détecteurs photoélectriques et modulateurs électro-optiques, etc. Dans de telles applications, les composés semi-conducteurs III-V sont préférables. On citera par exemple les composés binaires et ternaires, GaAs, InP, AlGaAs, InGaAs,...

Le premier chapitre traite des généralités sur les semi-conducteurs. Le deuxième chapitre est consacré aux lasers, leur principe de fonctionnement, notamment les lasers à semi-conducteurs. Dans le troisième chapitre, on présente premièrement le logiciel "SILVACO-TCAD", puis on passe à la conception et à la simulation d'un laser VCSEL à l'aide de ce logiciel, ensuite on discutera des résultats obtenus. Enfin on terminera avec une conclusion.

CHAPITRE 01 :

Les semi conducteurs

1.1. Introduction :

Les semi-conducteurs SC présentent une classe de matériaux bien définie avec des propriétés physiques particulières et importantes, qui interviennent dans le domaine de l'électronique optique. Cependant, dans ce chapitre, nous allons définir et exposer quelques propriétés des semi-conducteurs III-V, en particulier les composés GaAs, GaAlAs. Puis nous présenterons certaines propriétés de ces matériaux qui les favorisent ainsi que les progrès technologiques qu'ils restent à faire pour développer encore leurs utilisations.

1.2. Semi-conducteurs :

Les semi-conducteurs sont des corps solides dont la conductivité électrique se situe entre celle des métaux et celle des isolants. Ils sont isolants s'ils sont purs et au zéro absolu. Leurs conductivité électrique augmente avec la température, elle est sensible aux impuretés ou aux différents types de défauts

1.2.1. Semi-conducteurs intrinsèques :

La conductivité de tout matériau est due aux électrons libérés dans la bande de conduction par l'agitation thermique. Dans le cas des semi-conducteurs intrinsèques, le nombre d'électrons libérés est relativement inférieur à celui des métaux, mais supérieur à celui des isolants. Cela permet une conductivité très limitée du courant à travers le matériau. Lorsque la température du matériau augmente, des électrons pénètrent davantage dans la bande de conduction, par conséquent, la conductivité du semi-conducteur augmente également. Il existe deux types de porteurs de charge dans un semi-conducteur, les électrons libérés dans la bande de valence et les orbitales vacantes, plus communément appelées les trous. Le nombre de trous et d'électrons dans un semi-conducteur intrinsèque est égal. Les trous et les électrons contribuent à la circulation du courant. Lorsqu'une différence de potentiel est appliquée, les électrons se déplacent vers le potentiel le plus élevé et les trous se déplacent vers le potentiel le plus bas. Il existe de nombreux matériaux qui agissent comme des semi-conducteurs. Le silicium et le germanium sont des semi-conducteurs simples, tandis que l'arséniure de gallium est un composé. Les éléments du groupe IV et les composés des éléments des groupes III et V, tels que l'arséniure de gallium, le phosphore d'aluminium et le nitrure de gallium, présentent des propriétés intrinsèques de semi-conducteur.

1.2.2. Semi-conducteurs extrinsèques :

En ajoutant différents éléments, les propriétés du semi-conducteur peuvent être affinées pour conduire plus de courant. Le processus d'addition est appelé dopage, tandis que le matériau ajouté est appelé impuretés. Les impuretés augmentent le nombre de porteurs de charge dans le matériau, permettant une meilleure conductivité. Les impuretés sont classées comme accepteurs et donneurs. Les donneurs sont des matériaux qui ont des électrons non liés dans le réseau et les accepteurs sont des matériaux qui laissent des trous dans le réseau. Pour

les semi-conducteurs du groupe IV, le bore, les éléments du groupe III, l'aluminium agissent en tant qu'accepteurs, tandis que le phosphore et l'arsenic sont des donneurs. Pour les semi-conducteurs composés du groupe II-V, le sélénium et le tellure agissent en tant que donneurs, tandis que le béryllium, le zinc et le cadmium agissent en tant qu'accepteurs. Si un certain nombre d'atomes accepteurs sont ajoutés en tant qu'impureté, le nombre de trous augmente et le matériau présente un excès de porteurs de charge positifs. Par conséquent, le semi-conducteur dopé avec une impureté d'accepteur est appelé semi-conducteur de type positif ou de type P. De la même manière, un semi-conducteur dopé avec une impureté donneuse, laissant le matériau en excès d'électrons, est appelé semi-conducteur de type négatif ou de type N.

1.3. Bandes d'Énergie :

La bande de valence est la dernière bande totalement ou partiellement remplie. Autrement dit, les bandes situées en-dessous sont toutes occupées par des électrons. La bande de conduction est la bande d'énergie située juste au-dessus de la bande de valence. Elle est totalement vide ou partiellement remplie. C'est dans la bande de conduction que se trouvent les électrons les moins liés au noyau et donc susceptibles de devenir des électrons libres, sous l'action d'un champ électrique extérieur par exemple [4]. Dans le cas des conducteurs, il y a un chevauchement entre la bande de valence et la bande de conduction et chaque atome d'un conducteur libère un ou plusieurs électrons libres. Pour des isolants, il existe une bande interdite entre la bande de conduction et la bande de valence, nommée gap ou bandgap. Ce gap de plusieurs eV est quasiment infranchissable et un nombre infime d'électrons de la bande de valence peuvent sauter jusqu'à la bande de conduction. Il existe une troisième catégorie de matériaux pour lesquels le gap est inférieur ou égal à 1,5 eV. Pour ces éléments, un simple photon du spectre visible possède l'énergie suffisante pour faire passer un électron du haut de la bande de valence vers la bande de conduction, Ce sont les semi-conducteurs tels que le silicium (gap = 1,1 eV) ou le germanium (gap = 0,7 eV). Les propriétés électriques de ces matériaux et leur capacité à interagir avec la lumière expliquent en grande partie la raison pour laquelle ils sont devenus indispensables en électronique.

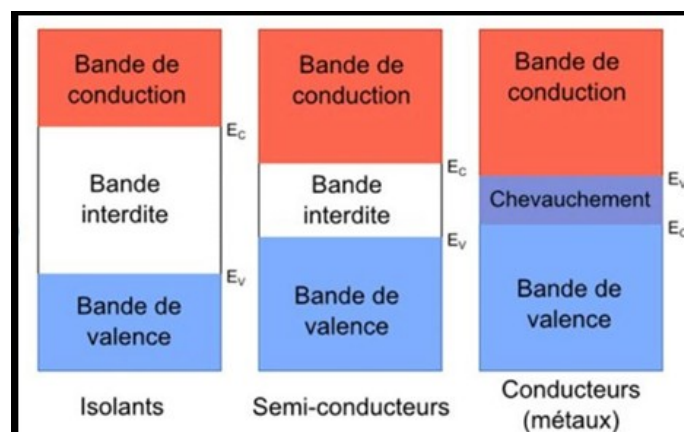


Figure I.1: Schéma des bandes d'énergies dans le cas d'un matériau isolant, semi-conducteur, conducteur, de gauche à droite.

1.4. Jonction P-N :

Si on met en contact deux semi-conducteurs dopés respectivement n et p, on réalise ce que l'on appelle une jonction p-n .Au voisinage de la zone de contact, les électrons en excès dans la zone dopée ont tendance à migrer au bord de la zone dopée p, et inversement pour les trous. La région située au voisinage de la zone de contact se charge alors positivement d'un coté et négativement de l'autre. Il s'établit un champ électrique statique qui s'oppose au mouvement des charges [5].

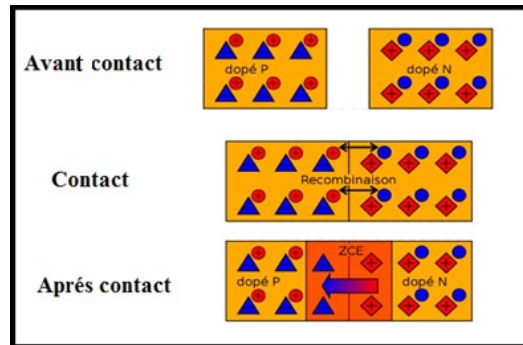


Figure I.2: Schéma d'une jonction p-n.

1.5..... Pol arisation de la jonction P-N :

Une jonction *P-N* est créée par la mise en contact d'un semi-conducteur dopé *N* et d'un semi-conducteur dopé *P*. La jonction entraîne l'égalisation des niveaux de Fermi par décalage des bandes. Si l'on applique une tension positive du côté de la région *P*, les porteurs majoritaires positifs (les trous) sont repoussés vers la jonction. En même temps, les porteurs majoritaires négatifs du côté *N* (les électrons) sont attirés vers la jonction. Arrivés à la jonction, soit les porteurs se recombinent, un électron tombe dans un trou, en émettant un photon éventuellement visible, soit ces porteurs continuent leur course au travers de l'autre semi-conducteur jusqu'à atteindre l'électrode opposée. Le courant circule et son intensité varie en exponentielle de la tension. Si la différence de potentiel est inversée, les porteurs majoritaires des deux côtés s'éloignent de la jonction, bloquant ainsi le passage du courant à

son niveau. La jonction $P-N$ est à la base du composant électronique nommé diode, qui ne permet le passage du courant électrique que dans un seul sens [5].

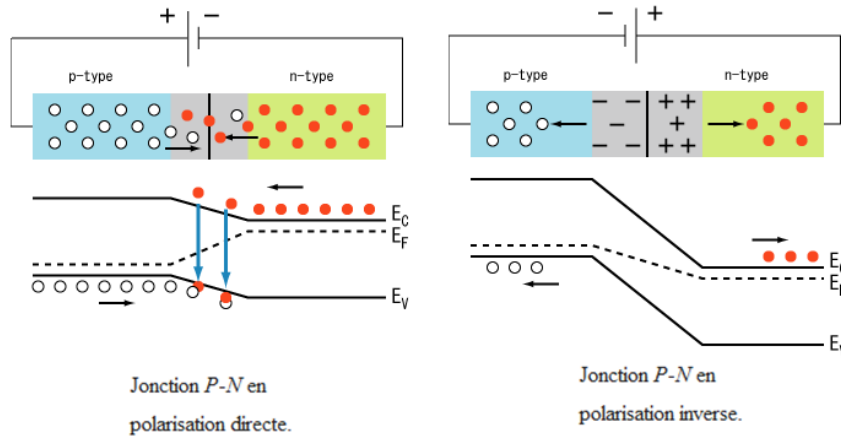


Figure I.3: polarisation directe et inverse d'une jonction.

1.6. Gap direct et gap indirect :

La famille des matériaux semi-conducteurs, isolant à bande interdite de l'ordre de 1 eV, peut être divisée en deux groupes : les matériaux à gap direct, comme la plupart des composés issus des colonnes III et V du tableau périodique des éléments chimiques, et les matériaux à gap indirect, comme le silicium. La notion de gap direct et indirect est liée à la représentation de la dispersion énergétique d'un semi-conducteur : le diagramme $E(k)$. Ce diagramme permet de définir spatialement les extrema des bandes de conduction et de valence. Ces extrema représentent, dans un semi-conducteur à l'équilibre, des domaines énergétiques où la densité de porteurs type p et type n pour les bandes de valence et de conduction sont importante [4].

- On parle de semi-conducteur à gap direct lorsque le maximum de la bande de valence et le minimum de la bande de conduction se situent à valeur voisine du nombre d'onde k sur le diagramme $E(k)$.
- On parle de semi-conducteur à gap indirect lorsque le maximum de bande de valence et le minimum de la bande de conduction se situent à des valeurs distinctes du nombre d'onde k sur le diagramme $E(k)$.

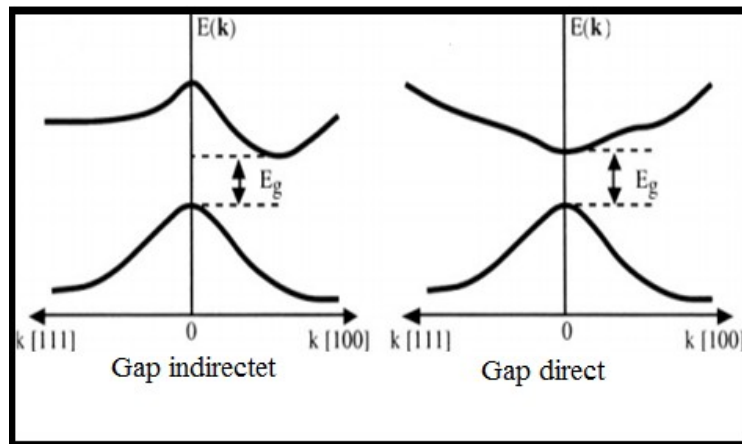


Figure I.4: Structure de bande d'énergie du gap direct et indirect.

Dans le cadre des applications en émetteur de lumière (interaction lumière/matière), on privilégie les matériaux à gap direct. En effet, les extrema de bandes étant situés à des valeurs de k semblables, la probabilité de recombinaison radiative des porteurs (rendement quantique interne) est supérieure grâce à la conservation de la quantité de mouvement (même nombre d'onde k)

1.7. Hétérostructures à base des semi conducteurs III-V (GaAs/GaAlAs)

De nombreux composants à hétérostructures sont aujourd'hui produits industriellement. La plupart sont à base des composants *GaAs/GaAlAs* comme : la diode laser à double hétérostructures, les transistors bipolaires hétérojonction, diode laser à puits quantiques. Cependant, les puits quantiques sont les premières structures réalisées.

1.7.1. Puits quantiques :

Un puits quantique simple est constitué à partir de deux alliages semi-conducteurs, *GaAs* et de $\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x} \text{As}$ non dopés. La valeur de x permet d'avoir une barrière importante pour l'hétérojonction tout en conservant un gap direct. Ce couple de semi-conducteurs permet de créer des interfaces. Un puits quantique consiste en une structure de *GaAs* (B), de longueur L , prise en sandwich entre deux couches de $\text{Al}_x \text{Ga}_{1-x} \text{As}$ (A), c'est donc un dispositif constitué de deux hétérojonctions. Ceci est illustré dans la figure suivante.

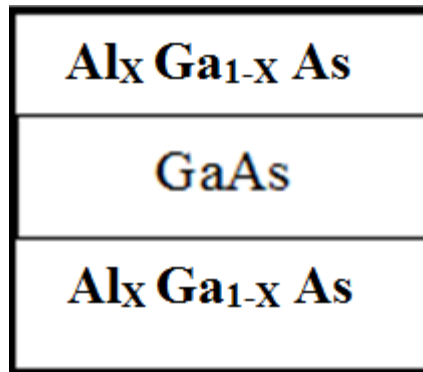


Figure I.5: Puits quantique carré d'un matériau semi-conducteur

Selon la nature de la discontinuité de bandes interdites à l'interface puits-barrière, on distingue trois types de puits quantiques :

- Puits quantique de type-I où électrons et trous sont confinés dans le même matériau (*GaAs*) constituant le puits.
- Puits quantiques de type-II où les électrons et les trous sont confinés séparément dans les deux matériaux puits et barrière respectivement.
- Puits quantiques dit de type-III qui est un cas particulier du *type-II*, dont le bas de la bande de conduction est situé en dessous du haut de la bande de valence.

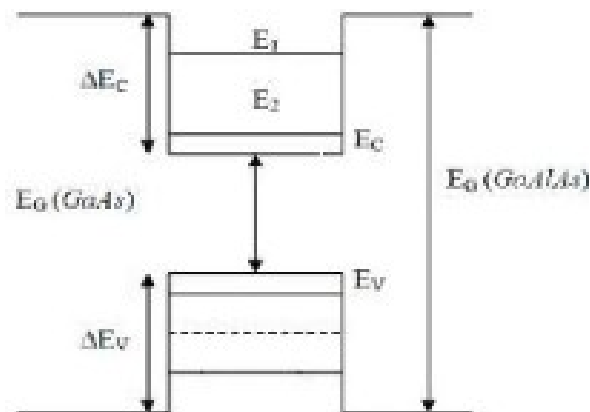


Figure I.6: Schéma des bandes d'énergie d'un puits quantique [6].

1.7.2. Hétérojonction AlGaAs/GaAs :

L'hétérojonction est constituée de deux types de matériaux différents :

- Matériau de grandes bandes interdites dopé N(AlGaAs).
- Matériau de faible bande interdite non dopé N(GaAs).

La (Figure I.7) montre la structure de bandes de l'hétérojonction. Ces courbures ont pour effet de créer un puits de potentiel qui permet le confinement des électrons issus des donneurs du matériau de grandes bandes interdites (AlGaAs) dans le matériau de faible bande interdite (GaAs), avant et après contact.

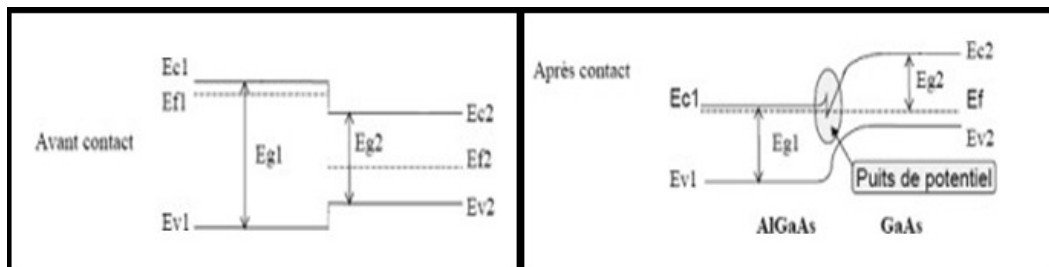


Figure I.7: Diagramme de bandes d'énergie de l'hétérojonction AlGaAs/GaAs.

1.8. Propriétés des matériaux III-V :

1.8.1. Composés binaires :

On peut construire des matériaux semi-conducteurs III-V, en associant des éléments de la colonne III et des éléments de la colonne V de la classification périodiques de Mendeleïev à raison de un atome de la colonne III pour un atome de la colonne V, comme on peut réaliser ainsi des semi-conducteurs composés III-V. 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 de bandes montre que les éléments les plus légers donnent des composés dont lesquelles la bande interdite est large et indirecte, et dans lesquelles la masse effective des électrons est élevée.

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 où 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.

1.8.2. Composés ternaires :

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 qui sont identifiés de la façon suivante: S'il y a substitution d'un atome de la colonne III et deux atomes de la colonne V on obtient la formule suivante $A_{III}B_V C$.

1.8.3. Alliage $Al_x Ga_{1-x} As$:

Le $Al_x Ga_{1-x} As$ est un semi-conducteur *ternaire* dont le diagramme de phase est basé sur les deux alliages *binaires* de groupe III-V : $GaAs$ et $AlAs$. Comme on a vu en haut et comme nous le voyons sur la figure suivante, le très faible désaccord des paramètres de maille "a" de $GaAs$ et d' $AlAs$ en font des candidats parfaits d'un point de vue technologique pour la fabrication d'hétérojonctions. En effet, le paramètre de maille varie très peu avec la concentration en aluminium x (avec $0 < x < 1$), ce qui signifie que les interfaces entre des alliages de différentes concentrations n'ont que très peu de défauts et présentent donc un faible désordre.

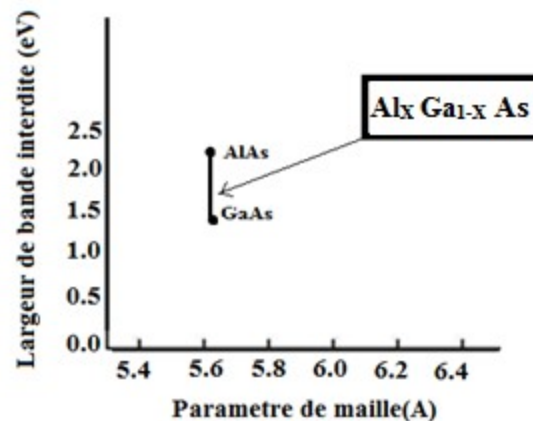


Figure. I.8: Largeur de bande interdite et paramètre des principaux semi-conducteurs

Cependant la nature de la transition énergétique de l'alliage $Al_x Ga_{1-x} As$ change selon le taux d'aluminium x . Pour une fraction d'aluminium inférieure à 0,45 la transition de l'alliage est identique à celle du $GaAs$ caractérisé par une transition directe. Quand le taux d'aluminium devient supérieur à 0,45 la transition devient indirecte comme celle de l' $AlAs$. À la température ambiante l'énergie de gap E_g [6].

1.9. Paramètre de réseau des matériaux III-V :

Les paramètres de maille désignent les dimensions de la maille élémentaire. Dans le cas le plus complexe, le réseau triclinique, on a 6 paramètres : trois dimensions a , b et c , et trois angles α , β et γ . Dans le cas du réseau cubique, on ne cite qu'un

paramètre de maille, a (puisque $a = b = c$, et que $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$), dans le cas d'un orthorhombique, on n'en cite que trois, a , b et c (puisque $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$) et dans le cas de l'hexagonal, on en cite également trois, a , c et $\gamma = 120^\circ$ (puisque $a = b$, et que $\alpha = \beta = 90^\circ$).

1.10. Propriétés optiques

1.10.1. Indice de réfraction:

L'indice de réfraction d'un support est un nombre sans dimensions qui décrit comment la lumière ou tout autre rayonnement se propage à l'intérieure.

Il est donné par :

$$n(\omega) = \sqrt{\frac{(\epsilon_1(\omega)^2 + \epsilon_2(\omega)^2)^{1/2} + \epsilon_1(\omega)}{2}} \quad (\text{I.1})$$

Avec : n : indice de réfraction.

\mathcal{E} : Constante diélectrique.

1.10.2. Absorption :

Le coefficient d'absorption $\alpha(\omega)$ caractérise la part d'énergie absorbée par le

Support. Il est défini par l'équation suivante :

$$\alpha(\omega) = \frac{4\pi}{\lambda} K(\omega) \quad (\text{I.2})$$

Avec

λ : La longueur d'onde de la lumière dans le vide.

$K(\omega)$: Le coefficient d'extinction

Un affaiblissement de l'intensité du rayon incident signifie que le nombre de photons se trouvant dans le faisceau à diminuer, ceci peut être dû soit à une diffusion soit à une absorption.

1.11. Conclusion :

La conception, la fabrication des matériaux nouveaux et l'optimisation des propriétés des matériaux existants constituent aujourd'hui un domaine de recherche très actif dans la technologie moderne. Les semi-conducteurs III-V et leurs alliages correspondants, occupent actuellement une position privilégiée dans plusieurs domaines d'application tel que l'optoélectronique.

Dans ce chapitre, nous avons présenté les semi-conducteurs en général, les hétérostructures, les composés binaires et ternaires, en particulier le GaAlAs, ainsi que les propriétés optiques de ces matériaux. Nous concluons que leurs utilisations apportent de nombreux avantages en termes de propriétés des matériaux. En effet, cela fait l'objet de recherche très active dans la technologie moderne.

CHAPITRE 02 :

Les Lasers

2.1. Introduction :

Le laser est une invention majeure du XX^{ème} siècle qui est plus généralement vu comme une source possible pour tout rayonnement électromagnétique, dont fait partie la lumière visible. Les longueurs d'ondes concernées étaient d'abord les micro-ondes, puis elles se sont étendues aux domaines de l'infrarouge, du visible, de l'ultraviolet et commencent même à s'appliquer aux rayons X [2].

Les particularités de la lumière laser sont aujourd'hui utilisées pour des applications extrêmement variées qui peuvent être classées plus ou moins en fonction de la réflexion ou de l'absorption du laser [1]. Ainsi, deux grandes familles apparaissent, celle traitant d'un transfert de puissance et celle contenant des applications de transfert d'information dans laquelle on trouve le laser utilisé en télécommunication via réseaux de fibre optiques.

Dans ce deuxième chapitre nous allons étudier le fonctionnement d'un laser, on commence en un premier lieu par décrire le processus d'émission de la lumière. Ensuite Le principe du laser qui assemble trois parties principales un milieu amplificateur, un système d'excitation qui est le pompage et une cavité résonante, cette cavité impose au système certaines conditions qu'on va étudier après on passera aux propriétés du faisceau laser qui sont la directivité, la Monochromaticité et la cohérence.

2.2. Processus d'émission de la lumière :

L'énergie de l'atome peut changer, via des transitions électroniques. Concrètement, cela concerne au moins un de ses électrons, qui effectue une transition d'un état d'énergie à un autre.

2.2.1 Absorption et extraction d'un atome :

Le noyau d'un atome contient des nucléons, protons et neutrons. Et des électrons qui gravitent autour du noyau selon une trajectoire bien définie. Un électron se trouve forcément sur une orbite définie, chaque orbite possède un niveau d'énergie. On regarde alors deux niveaux d'énergie, E_1 et E_2 où $E_1 < E_2$. Lorsque l'on apporte une certaine énergie, qui est la différence entre E_2 et E_1 , à un électron dans le niveau E_1 , il peut passer dans le niveau E_2 . Inversement si l'on enlève cette différence à un électron dans le niveau E_2 , il redescendra en E_1 .

Le principe de l'absorption est de donner un photon à un électron, ce qui va avoir pour effet de l'exciter et le faire "sauter" au niveau supérieur.

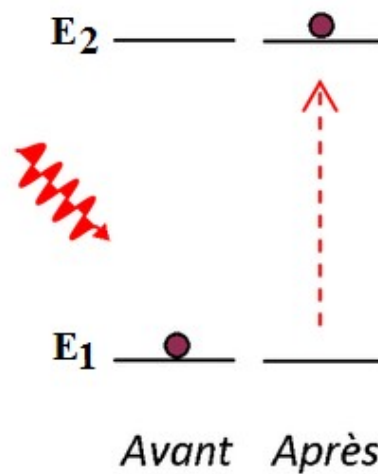


Figure II.1: Processus d'absorption

2.2.2 Emission spontanée :

Un atome occupe généralement son état fondamental d'énergie la plus basse E_1 . Lorsqu'il est excité il occupe un niveau d'énergie supérieure E_2 pendant un temps très court l'atome revient à son état fondamental en restituant l'énergie au milieu extérieur, Cette restitution peut se faire par l'émission d'un photon d'énergie

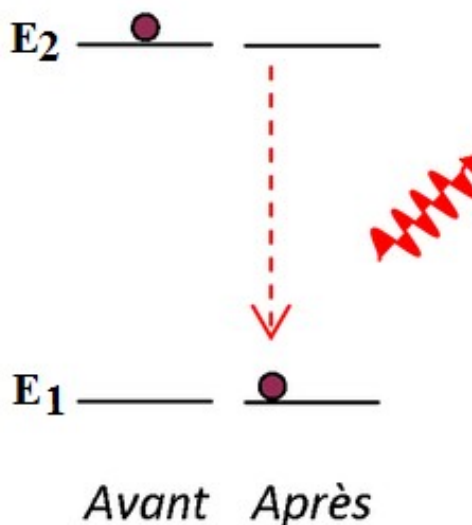


Figure II.2: Emission spontanée

2.2.3. Emission stimulée :

Pendant le court laps de temps où il est excité, un atome du niveau E_2 peut être percuté par un photon d'énergie. Ce dernier provoque alors la désexcitation de l'atome vers le niveau d'énergie avec émission d'un photon identique au photon ayant provoqué la désexcitation.

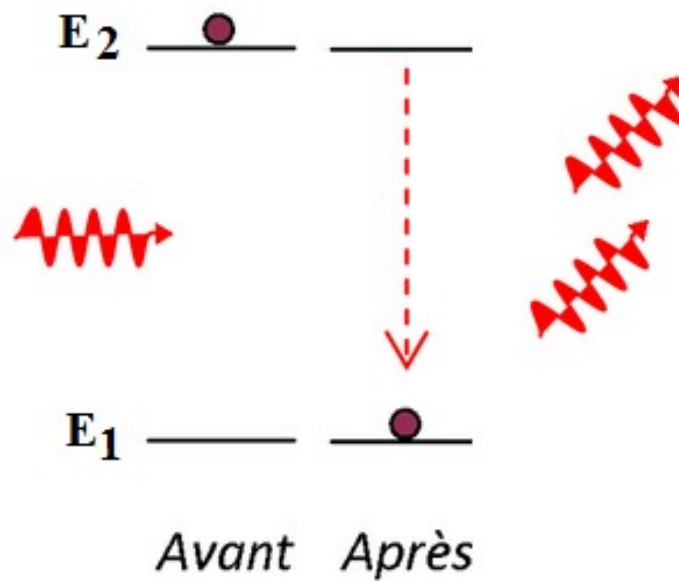


Figure II.3: Emission stimulée

2.3. Principe de fonctionnement :

Un système laser se compose fondamentalement de trois parties principales un milieu amplificateur, un système d'excitation du milieu actif, et une cavité résonante limitée par deux miroirs comme montré sur le schéma suivant :

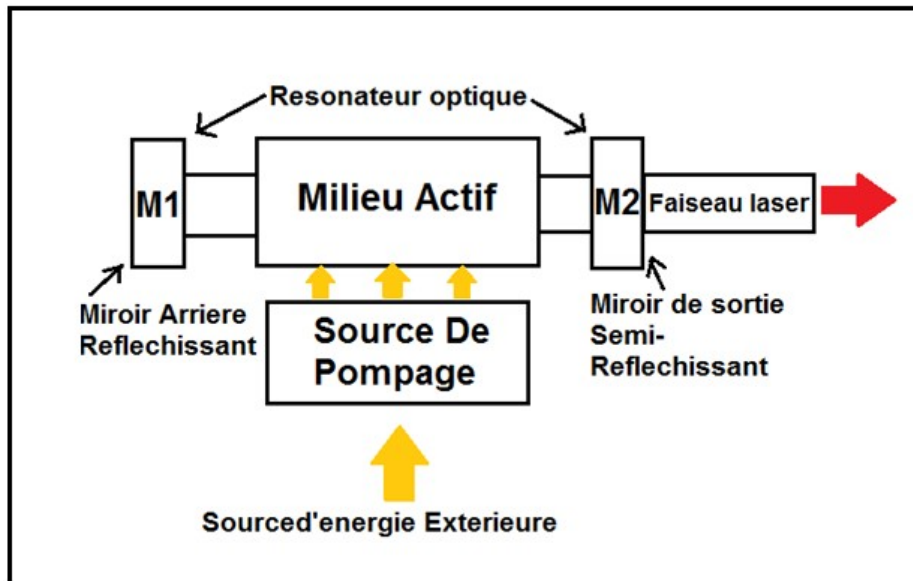


Figure II.4 : Schéma du principe de fonctionnement d'un laser

2.3.1. Milieu amplificateur :

Il peut être de différents types gaz, plasma, solide et liquide. Dans ce milieu, on trouve des atomes, molécules, ions ou électrons dont les niveaux d'énergie sont utilisés pour accroître la puissance d'une onde lumineuse au cours de sa propagation. Le principe physique mis en jeu est l'émission stimulée.

2.3.2. Pompage :

C'est un système d'excitation du milieu amplificateur qui permet de créer les conditions d'une amplification lumineuse en apportant l'énergie nécessaire au milieu. Les états atomiques se distinguent selon l'énergie conservée par l'atome on les représente sur une échelle d'énergies, où les niveaux de faible énergie sont en bas de l'échelle, tandis que les niveaux de grande énergie sont en haut. L'état d'une vapeur atomique peut être représenté par la population de chaque niveau de cette échelle la lumière permet de modifier les états atomiques vers les basses énergies, ou bien vers les hautes énergies. Dans ce second cas, les atomes représentés sur l'échelle d'énergie deviennent progressivement plus nombreux dans les hautes énergies. Dans une population d'atomes en équilibre thermique, ce sont les niveaux d'énergie les plus bas qui sont les plus peuplés. Lorsqu'un processus de pompage produit un peuplement majoritaire d'atomes de hautes énergies, on dit qu'on a réalisé une inversion de population.

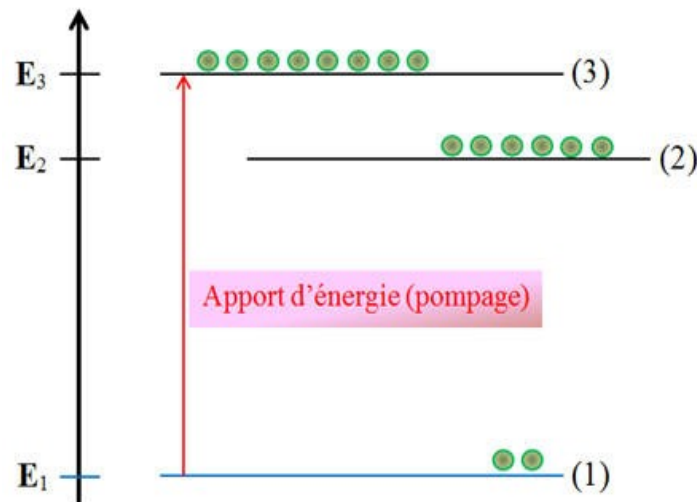


Figure II.5 : Echelle des Transissions énergétiques dans les atomes

2.3.3. Cavité résonante :

Avant d'être un milieu amplificateur de lumière, un milieu laser pompé par une source d'énergie extérieure est d'abord une LED par émission spontanée. C'est la cavité qui va créer les conditions favorables pour que l'émission stimulée devienne prédominante par rapport l'émission spontanée. La cavité ou résonateur optique est composée de deux miroirs qui permettent à la lumière de passer de nombreuses fois dans le milieu amplificateur afin d'obtenir des niveaux d'amplification considérables. Le miroir de sortie permet d'extraire une partie de l'onde lumineuse et réfléchit le reste du rayon de la cavité afin de pouvoir utiliser le rayonnement.

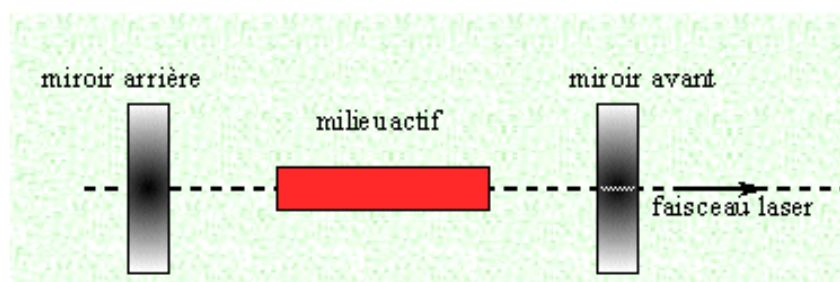


Figure II.6 : Cavité résonante.

On peut trouver deux types de cavités :

- Cavités linéaire : la lumière fait des allers et retour.
- Cavité en anneau : La lumière fait des tours.

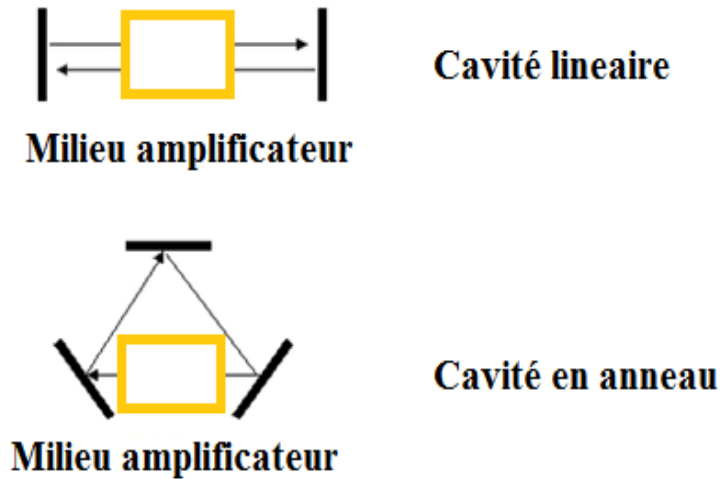


Figure II.7 : Types de cavité

2.4. Conditions sur la cavité :

Il y a certaines conditions à respecter pour qu'un laser puisse effectivement fonctionner. On trouve une condition sur le gain et les pertes de la cavité et une condition sur la fréquence.

2.4.1. Condition sur le gain :

On définit le gain d'un milieu amplificateur par le rapport entre la puissance de sortie P_s sur la puissance d'entrée P_e :

$$G = \frac{P_s}{P_e} \quad (\text{II.1})$$

Ces deux puissances, exprimées en photons par seconde, étant portées par le faisceau laser avant et après le passage du milieu amplificateur comme montré sur la figure suivante :



Figure II.8 : Puissance en entrée et en sortie d'un milieu amplificateur

On considère les coefficients de réflexion des miroirs de la cavité : R_1 et R_2 . On suppose qu'il n'y a pas d'autres pertes que les réflexions sur les miroirs. Lorsque le laser fonctionne en continu, il émet une puissance de sortie constante indépendante du fait que les photons circulant dans la cavité augmentent en nombre au passage du milieu amplificateur puis diminuent lors de la réflexion sur les miroirs. Ainsi, lorsque le laser fonctionne en continu, un aller et retour dans la cavité ne modifie pas la puissance portée par le faisceau laser.

En appelant P la puissance du laser juste avant le miroir M_1 .

La puissance après un aller et retour P_{AR} peut s'écrire :

$$P_{AR} = G_{+i} R_2 G_{-i} R_1 P \quad (II.2)$$

Où

G_{+i} : Les gains effectifs dans la direction du faisceau laser en sortie.

G_{-i} : Les gains effectifs dans la direction inverse.

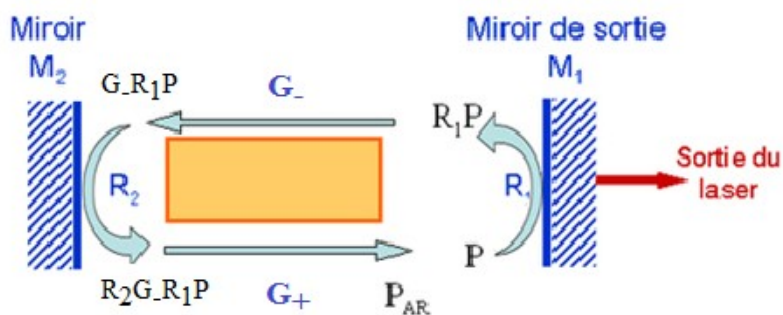


Figure II.9 : Effet des miroirs et du gain sur l'onde laser.

Lorsque le laser émet en continu, on a $P=P_{AR}$. Le produit G_+G_- qui représente le gain sur un aller et retour doit donc vérifier :

$$G_+G_- = 1/R_1R_2 \quad (\text{II.3})$$

- Si $G_+G_- < 1/R_1R_2$, le laser ne peut pas osciller.
- Si $G_+G_- > 1/R_1R_2$, la puissance dans la cavité augmente à chaque tour.

Ainsi, supposons que le nombre maximal de photons qu'il est possible de récupérer de façon stimulée par seconde soit égal à N . Le gain effectif peut s'écrire :

$$G = (P_e + N)/P_e \quad (\text{II.4})$$

Avec P_e : la puissance juste avant le milieu.

- Si P_e augmente, le gain effectif diminue et tend vers l'unité. On appelle ce phénomène la saturation du gain.
- Ainsi, lorsque la puissance dans la cavité augmente de façon importante, le produit G_+G_- diminue et fini par se stabiliser à la valeur $G_+G_- = 1/(R_1R_2)$.

2.4.2. Condition sur la fréquence :

La cavité a également un rôle de filtre sur le spectre émis par le laser. Seules des ondes de certaines fréquences peuvent s'y propager. Ces fréquences s'écrivent

$$\nu = kc/2L \quad (\text{II.5})$$

Avec :

L : La longueur optique d'un tour de cavité.

K : Un entier.

c : La vitesse de la lumière.

Ce filtre va s'appliquer au spectre de l'émission spontanée émise au démarrage du laser. Progressivement, les fréquences ne pouvant exister dans la cavité vont disparaître et seules les fréquences vérifiant l'équation ci dessus vont rester. Le spectre émis par un

oscillateur laser est donc composé d'un peigne de fréquences régulièrement espacées ($c/2L$) en général centré sur le spectre d'émission spontanée

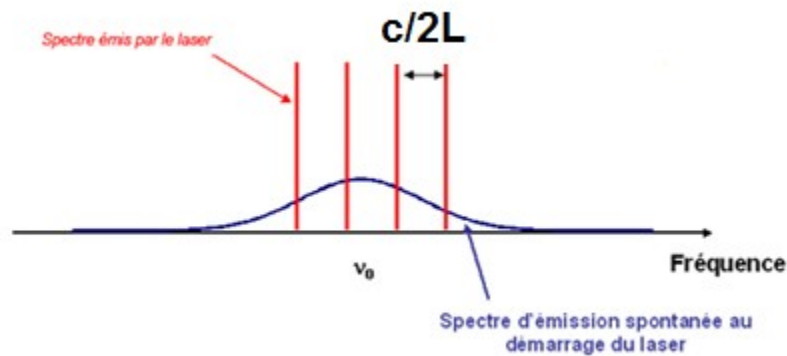


Figure II.10 : Allure du spectre émis par le laser par rapport au spectre d'émission spontanée de la transition laser.

Ces fréquences doivent également se trouver dans la bande de gain du milieu amplificateur. La condition sur le gain peut se traduire par une certaine plage spectrale $\Delta\nu$ dans laquelle les fréquences vont pouvoir mener à une oscillation, alors on peut traduire les conditions sur le gain et sur la fréquence au niveau d'un même graphe qui est représenté sur la figure suivante.

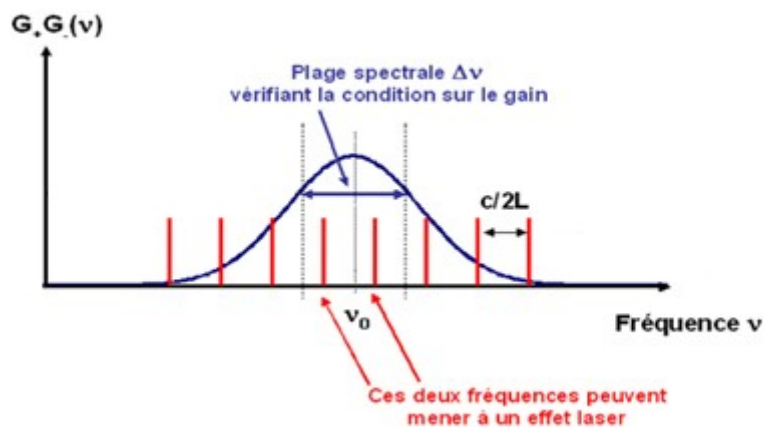


Figure II.11 : Conditions sur le gain et la fréquence

2.5. Caractéristiques du faisceau laser

2.5.1. Courant de seuil :

En-dessous d'un certain courant, appelé courant de seuil, le laser n'émet pas de lumière cohérente puisque l'émission stimulée ne compense pas les pertes de la cavité, pertes provoquées par le milieu diffusant, par le phénomène d'absorption et par la transmission du signal vers l'extérieur. Par contre, au-dessus de ce seuil, le flux de photons amplifiés augmente jusqu'à saturer le gain et le maintenir à une valeur où il compense les pertes. Ainsi que l'émission stimulée est processus dominant devant le processus d'émission spontanée qui est nécessaire au démarrage de la diode laser. Le courant de seuil marque la séparation entre un fonctionnement dominé par l'émission spontanée et un fonctionnement dominé par l'émission stimulée. La puissance délivrée par le laser peut être donc approximée par :

$$P = \begin{cases} P = \eta(I - I_s) & \text{si } I > I_s \\ 0 & \text{si } I < I_s \end{cases} \quad (\text{II.6})$$

Avec :

I : Courant injecté à la diode laser.

I_s : Courant de seuil de la diode laser.

η : Rendement du laser.

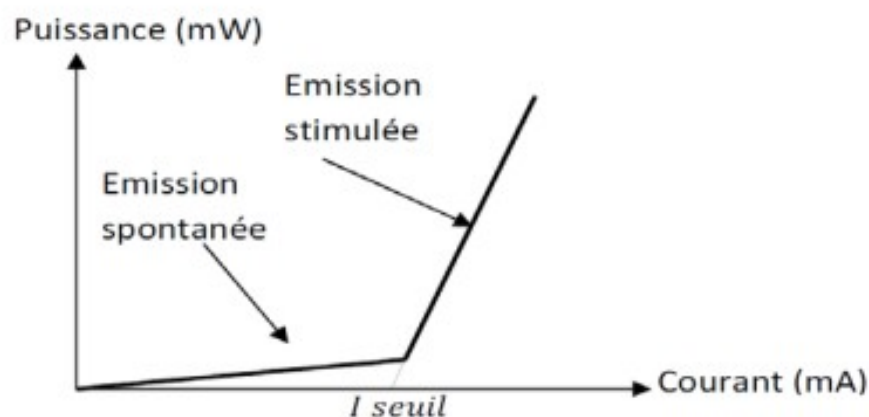


Figure II.12 : Caractéristique puissance-courant d'un laser

2.5.2. Divergence et directivité :

Les sources de lumière ordinaires émettent de la lumière dans toutes les directions parce qu'une lumière ordinaire est de nature non directionnelle et son intensité diminue avec la distance croissante. Le faisceau laser est directionnel, par conséquent, l'intensité de sa lumière est très grande et atteint des distances très importantes. Le faisceau laser diverge légèrement en raison du phénomène de diffraction. Par conséquent, il est caractérisé par une divergence extrêmement faible.

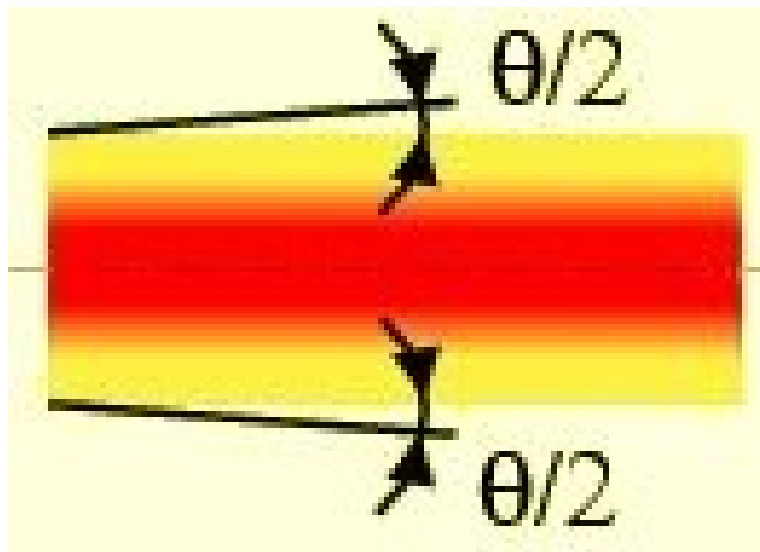


Figure II.13 : Divergence du faisceau laser

La divergence est exprimée par la formule suivante :

$$\theta = \frac{4\lambda}{\pi d} \quad (\text{II.7})$$

Avec :

θ = la divergence en radian.

λ = la longueur d'onde de la lumière.

d = le diamètre du faisceau en mm.

2.5.3. Cohérence :

La lumière ordinaire contient de nombreuses longueurs d'onde et phases différentes. Contrairement à la lumière produite par un laser qui est composée des ondes qui ont toutes la même longueur d'onde et toutes en phase.

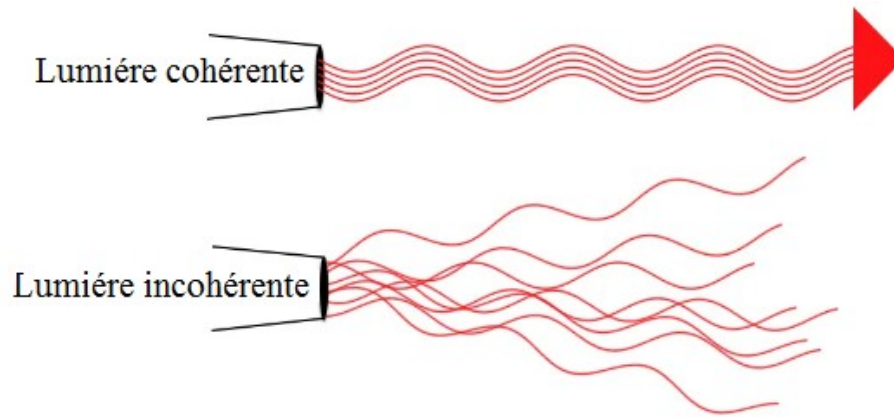


Figure II.14 : Cohérence et incohérence.

2.5.4. Monochromaticité :

Lumière monochromatique désigne une lumière contenant une seule couleur ou longueur d'onde.

Les ondes des sources de lumière ordinaires ont de nombreuses longueurs d'onde ou de différentes couleurs à cause des photons qu'elle émet qui ont des énergies et des fréquences différentes. Alors cette lumière est un mélange d'ondes ayant des fréquences ou des longueurs d'onde différentes. Contrairement à la lumière laser, dont tous les photons émis ont la même énergie, fréquence, ou longueur d'onde. Par conséquent, les ondes lumineuses du laser ont une seule longueur d'onde ou couleur. Ce qui donne que la lumière laser est monochromatique en couvrant une gamme très étroite de fréquence ou de longueurs d'onde.

2.6. Laser a semi conducteur :

Les lasers à semi-conducteurs ou les diodes laser sont des composants optoélectroniques dont la zone active est réalisée à base des matériaux semi-conducteurs III_V.

Comme tout laser, une diode laser fonctionne à l'aide d'un milieu amplificateur, d'une structure résonante et d'un processus de pompage. La diode laser est constituée d'une

jonction p-n réalisée sur des matériaux à gap direct avec une région active où les porteurs injectés, par forte polarisation directe de la diode, se recombinent de façon radiative, produisant une lumière cohérente issue d'émissions stimulées de photons.

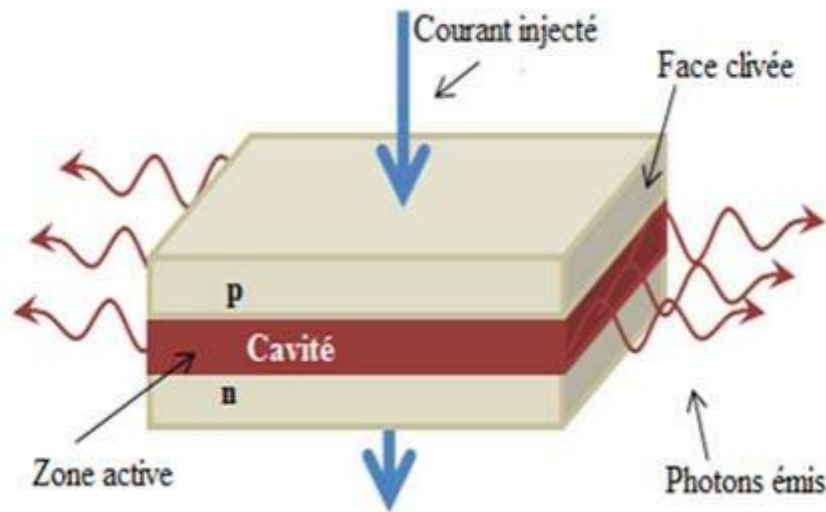


Figure II.15 : Structure de base d'une diode laser.

On distingue deux types de diodes lasers :

- Les diodes lasers multimodes : plusieurs modes d'oscillation. Moins, coûteuses.
- Les diodes lasers monomodes : un seul mode d'oscillation. Plus performantes mais aussi plus coûteuses.

2.7 Conclusion

Le Laser est un procédé d'amplification de la lumière. L'amplification de la lumière par émission stimulée de photons produit une lumière qui est monochromatique, directionnelle, cohérente et de haute intensité. Différentes sortes de lasers existent. Ils comprennent tous trois éléments nécessaires qui sont : le milieu émetteur, l'excitation et l'amplification. Parmi ces lasers nous distinguons le laser à semi-conducteur ou la diode laser.

En raison de ces propriétés avantageuses, la lumière du laser est utilisée dans de nombreux domaines: en astronomie, en médecine, dans l'industrie, dans la recherche scientifique et notamment en télécommunication comme émetteur via fibre optique.

CHAPITRE 02 :

**SIMULATION DES
CARACTERISTIQUES D'UN
LASER AVEC SILVACO-ATLAS**

3.1. Introduction :

SILVACO est un logiciel qui permet de concevoir, modéliser et simuler les performances des dispositifs à semi-conducteur avant la fabrication des prototypes d'essais. Ce logiciel est très utile dans les projets de recherche-développement, car il optimise le temps des essais et par conséquent réduit le coût de conception et de fabrication des dispositifs électroniques

Dans ce chapitre nous allons présenter le logiciel SILVACO-ATLAS et comment l'utiliser pour développer des programmes de simulation des propriétés électroniques ainsi nous aborderons les points impliqués dans l'exécution de simulations à l'aide de SILVACO ATLAS, puis nous discuterons des résultats de ces simulations.

3.2. Initiation a SILVACO (Silicon Valley COrporation) :

Avant qu'une structure de dispositif semi-conducteur ne soit finalisée pour une production commerciale, il est important de comprendre les caractéristiques et les performances du dispositif. La précision de toute simulation informatique, quel que soit le domaine de l'ingénierie, suit le concept de Garbage in, Garbage out (GIGO): la qualité de la sortie est déterminée par la qualité de l'entrée, ce qui rend très important d'avoir des paramètres précis pour le modèle à simuler. La même règle s'applique également à la simulation TCAD des semi-conducteurs.

Les paramètres critiques des matériaux tels que les propriétés électriques et thermiques doivent être assez précis et fiables pour obtenir des résultats de simulation fiables. Cependant, La caractérisation d'un dispositif semi-conducteur de puissance comprend l'évaluation du comportement en régime permanent et de commutation dans des conditions de température ambiante variables. Le code de l'appareil Silvaco ATLAS est exécuté à l'aide du programme deckbuild via l'interface utilisateur ou l'interface de ligne de commande. SILVACO a une bibliothèque intégrée pour différents matériaux semi-conducteurs. Nous pouvons caractériser ces matériaux dans le processus d'analyse divers. Il dispose de 23 types différents de matériaux de substrat pour la recherche et 15 types différents de matériaux d'impuretés [9].

3.2.1. Présentation de TCAD:

Technologie CAD (Technology Computer Aided Design) est une branche de l'automatisation de la conception électronique qui modélise la fabrication des semi-conducteurs, le fonctionnement des dispositifs à semi-conducteurs et le comportement physique et électrique d'un composant électronique. Ceci nous permet d'économiser le temps et le coût de développement, et ainsi de pouvoir envisager et optimiser des solutions pour améliorer les performances des dispositifs.

La modélisation de la fabrication est appelée ATHENA de SILVACO. La modélisation du fonctionnement de l'appareil est appelée ATLAS. Le logiciel de conception assistée par ordinateur (TCAD) fournit une solution efficace pour simuler la structure d'un dispositif semi-conducteur en régime permanent et transitoire. L'analyse des paramètres électrothermiques tels que le champ électrique, le courant de fuite, l'échauffement localisé et la température du réseau peut aider à isoler la vulnérabilité structurelle et à comprendre les causes possibles de défaillance de l'appareil.

TCAD-SILVACO inclut de nouveaux modèles physiques qui utilisent des méthodes et des algorithmes numériques efficaces, de nouvelles techniques de maillage, des solutions linéaires d'optimisation, etc., tout en permettant d'obtenir des résultats de simulation très proches de celles de la pratique. L'avantage majeur de ce type de simulateurs est de visualiser dans l'espace des phénomènes physiques difficilement accessibles et observables et de s'approprier de manière pédagogique les procédés de fabrication.

3.2.2. ATLAS :

Le logiciel de simulation ATLAS est un simulateur de modélisation bidimensionnelle de composants semi-conducteurs. Il est capable de prédire les caractéristiques électriques de la plupart des composants semi-conducteurs en régime continu, transitoire ou fréquentiel. En plus du comportement électrique, exemple $I(V)$, il fournit des informations sur la distribution interne des variables électrique telles que le courant ou la tension. Ceci est réalisé en résolvant numériquement les équations de Poisson et de continuité des électrons et des trous en un nombre fini de points formant le maillage de la structure défini par l'utilisateur ou par le programme [8].

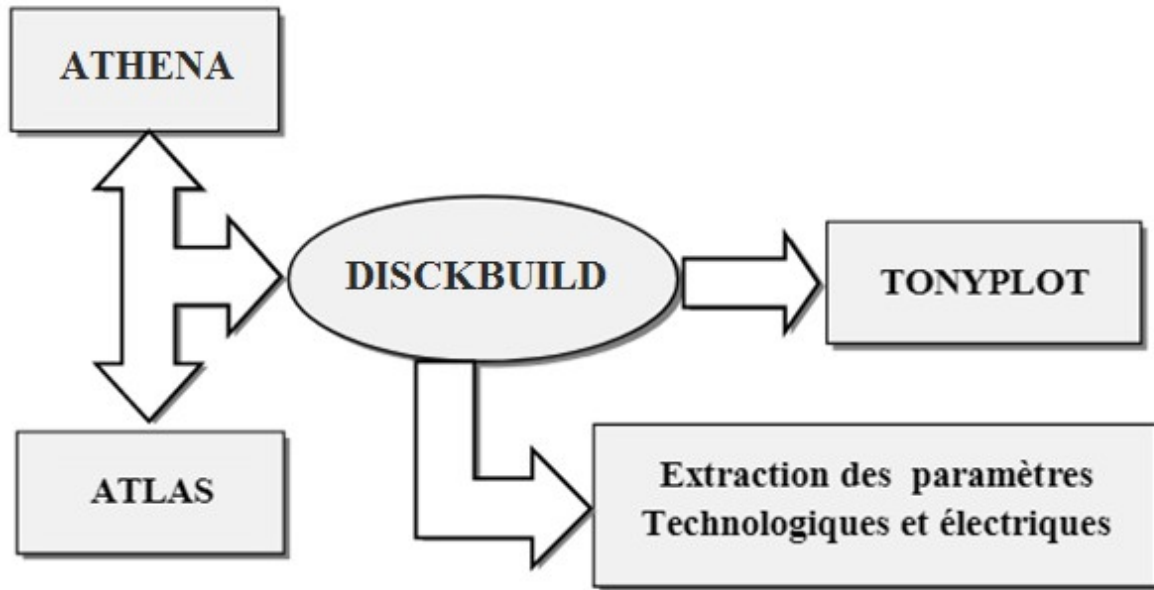


Figure III.1: Schéma synoptique des modules utilisés dans la simulation par TCAD-SILVACO.

La figure (III.1) représente le schéma bloc des modules utilisés dans la simulation par TCAD-SILVACO. Les paramètres d'entrée de simulation, définissant les différentes étapes technologiques et les phénomènes physiques, sont réalisés avec le module DECKBUILD de TCAD-SILVACO. La visualisation de la structure et des paramètres de sorti, s'effectue avec le module TONYPLOT.

➤ **Deckbuild :**

Deckbuild est un outil d'environnement d'exécution puissant qui permet à l'utilisateur de manière transparente d'aller de la simulation de processus à la simulation de dispositifs à l'extraction de modèles SPICE. Il est facile d'utiliser l'environnement de l'exécution pour exécuter des simulateurs de base tels que ATLAS.

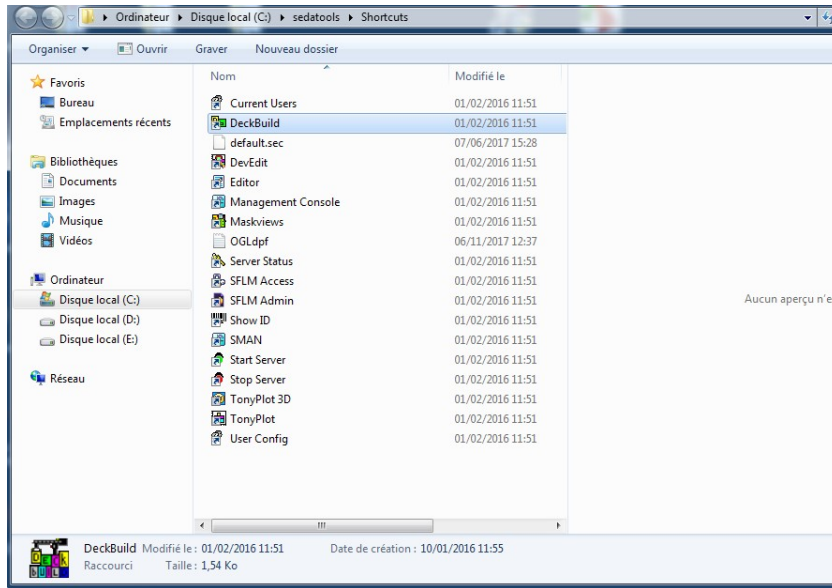


Figure III.2: Fenêtre d'accès a Deckbuild.

Deckbuild contribue à créer des fichiers d'entrée à ATLAS. Plusieurs fenêtres fournissent des ponts d'entrés à base de menus ou à base de textes pour les informations saisies. Il comprend également un grand nombre d'exemples pour tous les types de technologies. Autres outils de simulation, tels que TONYPLOT, DEVEDIT et MASKVIEW peuvent également être invoqué à partir de Deckbuild. Les optimiseurs de Deckbuild contribuent à l'optimisation des cibles comme les dimensions structurales et les paramètres des dispositifs après des tests électriques compliqués et des outputs intermédiaires

```

PFE_ST_2021 - Deckbuild
File Edit Search Format View Commands Execution Help
[Icons]
[Navigation]
solve v2=0.6
#
# LASER models
#
lx.m n=1 x=6.0
lx.m n=37 x=14.0
#
ly.m n=1 y=1.25
ly.m n=33 y=2.4
#
models material=InGaAsP fldmob srh optr fermi print \
laser gainmod=1 las_maxch=100. \
photon_energy=1.025 spec.name=laserex02 \
lmodes las_einit=1.01 las_efinal=1.1 cavity_length=50
#
log outf=laserex02_1.log
#
solve v2=0.8
solve v2=0.9
solve v2=1.0
solve v2=1.1
#
output con.band val.band recomb u.srh u.aug u.rad flowlines
solve vsteps=0.05 electr=2 vfinal=1.7
save outfile=laserex02_1.str
#
tonyplot -overlay laserex02_1.log laserex01_1.log -set laserex02_1_log.set
tonyplot -overlay laserex02_dc0.log laserex02_dc14.log laserex02_dc18.log -set laserex02_2_log.set
tonyplot laserex02_dc0.log -set laserex02_3_log.set
tonyplot laserex02_dc18.log -set laserex02_4_log.set
quit

MASTER format file written to laserex02_1.str at Thu Jul 08 13:13:43 2021
ATLAS> #
ATLAS> tonyplot -overlay laserex02_1.log laserex01_1.log -set laserex02_1_log.set
ATLAS> tonyplot -overlay laserex02_dc0.log laserex02_dc14.log laserex02_dc18.log -set laserex02_2_log.set
ATLAS> tonyplot laserex02_dc0.log -set laserex02_3_log.set
ATLAS> tonyplot laserex02_dc18.log -set laserex02_4_log.set
ATLAS> quit
ATLAS version 5.20.2.R finished at Thu Jul 08 13:13:43 2021
Ready
    
```

Figure III.3: Interface de Deckbuild.

➤ **TONYPLOT :**

TONYPLOT est L'environnement où sont tracés les résultats des simulations. Il donne des possibilités complètes pour la visualisation et l'analyse des caractéristiques de sortie (structure du composant électronique, profil de dopage, et caractéristiques électriques). Selon le programme de simulation utilisé, TONYPLOT peut donner des caractéristiques de sortie en une, deux ou trois dimensions.

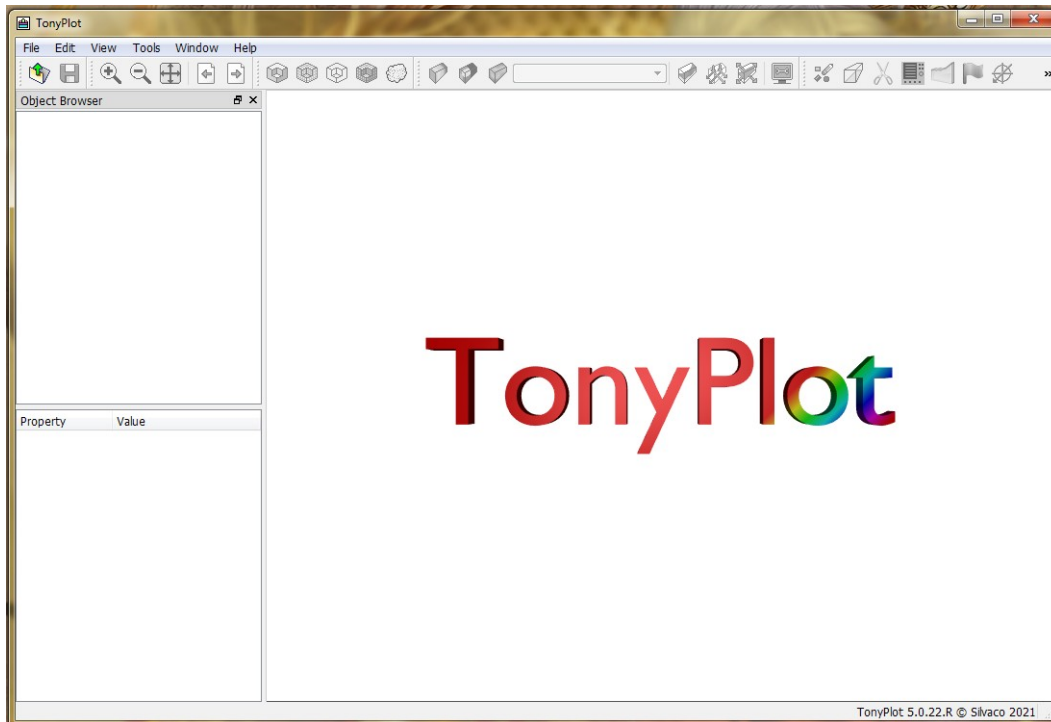


Figure III.4: Interface de TONYPLOT

➤ **Travailler avec ATLAS :**

Silvaco-Atlas reçoit les fichiers d'entrée à travers « DeckBuild ». Le code écrit dans le fichier d'entrée appelé « Atlas » pour fonctionner avec la commande suivante: « Go Atlas » Suite à cette commande, le fichier d'entrée doit suivre un modèle. Les groupes de commandes sont indiqués sur le tableau suivant et dans ce qui suit on abordera quelques groupe tels que la spécification de la structure et l'analyse des résultats.

Groupe	Déclarations
Spécification de la structure	<i>Maille</i> <i>Région</i> <i>Electrode</i> <i>Dopage</i>
Spécification des modèles des matériaux	<i>Matérielle</i> <i>Modèles</i> <i>Interface</i> <i>Contact</i>
Sélection de la méthode numérique	<i>méthode</i>
Spécification des solutions	<i>Log</i> <i>Solve</i> <i>Load</i> <i>Save</i>
analyse des résultats	<i>Extract</i> <i>Tonyplot</i>

Tableau III.1 : Groupe de commandes

➤ **Spécification de la structure :**

La spécification de structure est obtenue en identifiant le maillage, la région, les Electrodes et les niveaux de dopage.

Dans notre cas la structure simulée est une diode laser, La Figure III.5 illustre le schéma de notre structure conçue avec SILVACO. La structure est constituée d'une couche active étroite à AlGaAs et une couche de confinement GaAs.

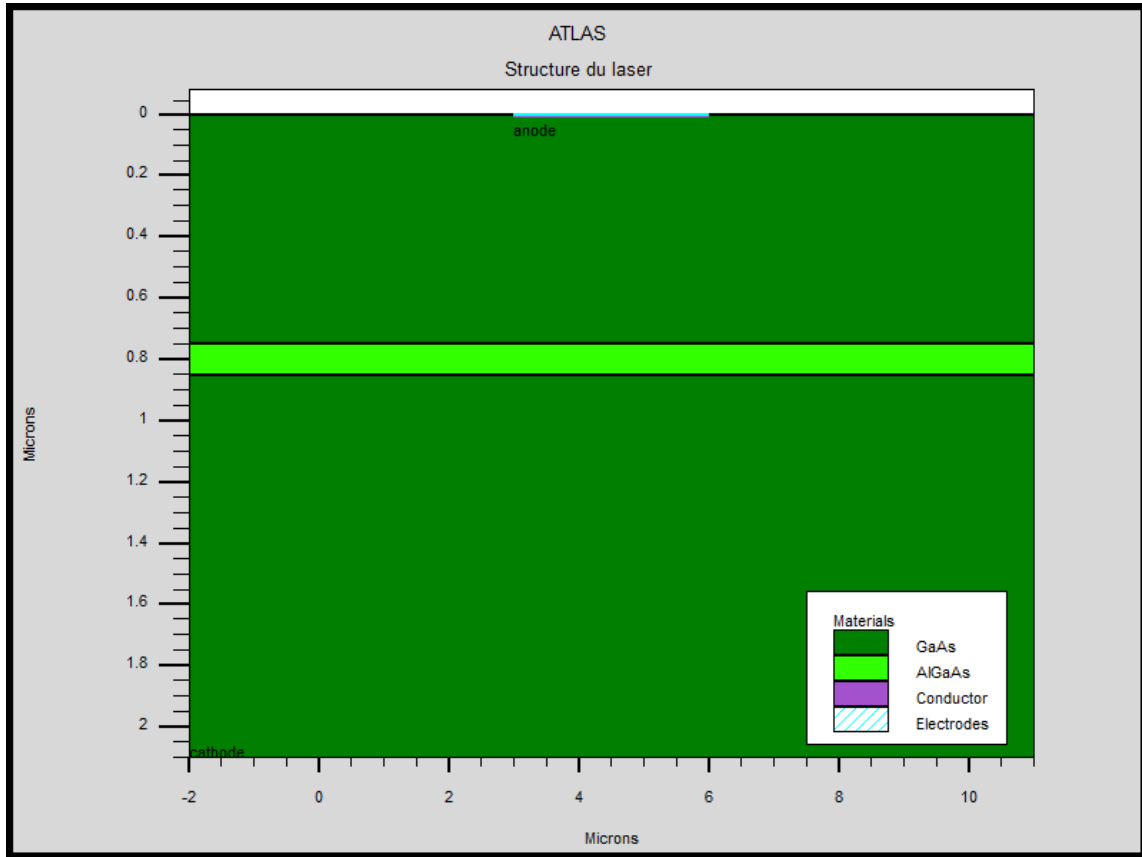


Figure III.6: Structure du laser.

➤ **Maillage :**

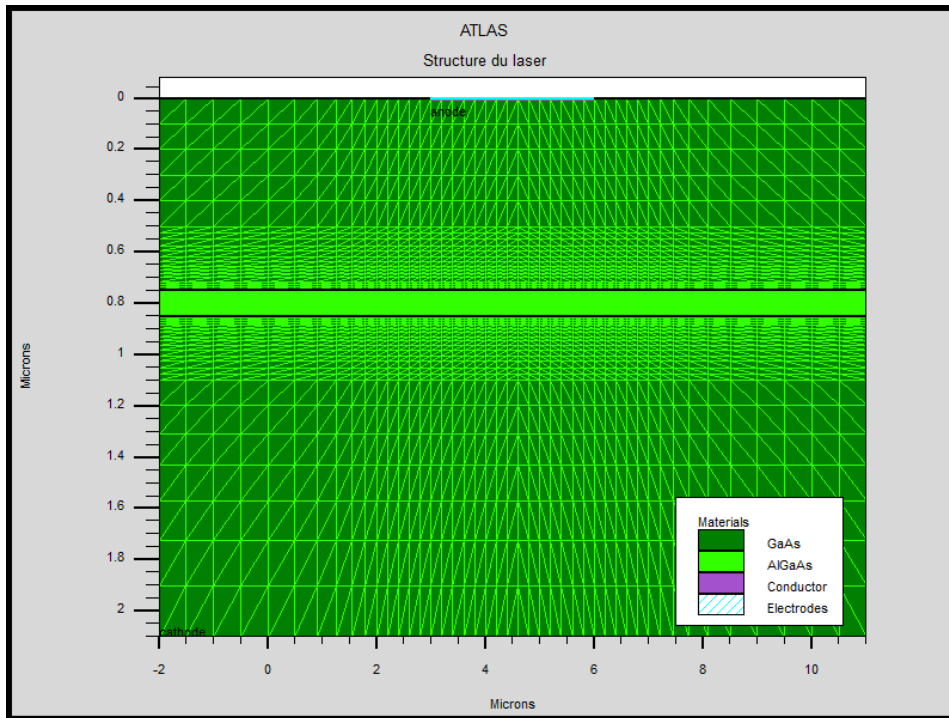
Pour un maillage bidimensionnel on définit seulement les paramètres de x et y. Le maillage est une série de lignes horizontales et verticales espacées les une des autres.

Le format général pour définir la maille est :

Y.MESH LOCATION=<VALUE> SPACING=<VALUE> (Position des Y avec la spécification de l'espacement).

X.MESH LOCATION=<VALUE> SPACING=<VALUE>

Un maillage grossier ou fin détermine l'exactitude de la simulation. Un maillage grossier donne une simulation plus rapide, mais des résultats moins précis. Un maillage fin donne une simulation plus lente, mais des résultats plus précis



La figure III.7: Maillage de la structure laser.

➤ Région :

Après la définition du maillage, il est nécessaire de définir les régions. Le format pour définir les régions est comme suit:

REGION number=<integer> <material_type> / <position parameters>

Région, numéro de la région, le type du matériau, limites de la région (x,y)

➤ Électrodes

ATLAS a une limite de 50 électrodes qui peuvent être définies. Le format pour définir des électrodes est comme suit :

ELECTRODE NAME=<electrode name> <position _ parameters>.

➤ Dopage

Le dernier aspect de la construction de la structure est le dopage. Le dopage peut être de type n ou p, aussi la distribution peut être uniforme, gaussien, etc... Le format de la déclaration d'Atlas est comme suit :

DOPING <distribution type> <dopant_type> /<position parameters>

➤ **Analyse des résultats:**

- **EXTRACT** : les commandes de ce type sont utilisées pour extraire les valeurs bien précises des paramètres des deux types des fichiers log ou structure.
- **TONYPLOT**: démarre le programme « TonyPlot » permettant une représentation graphique des données.

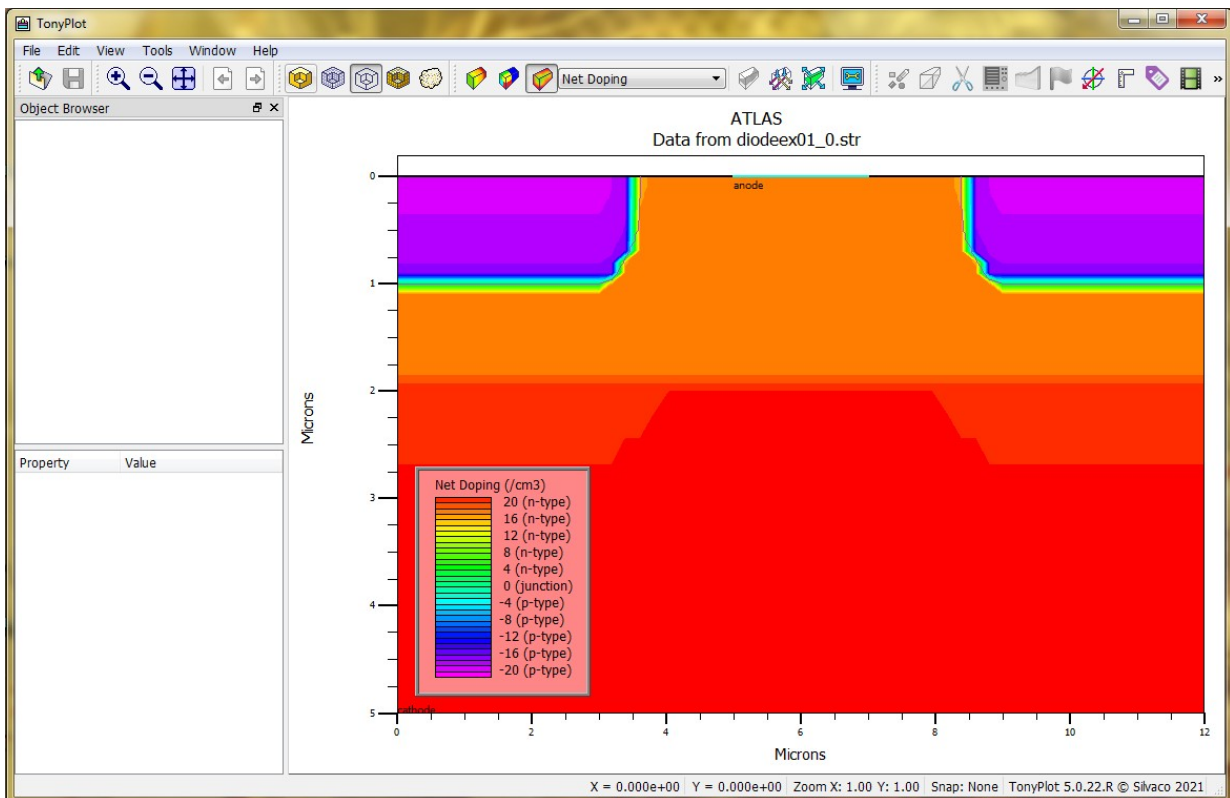
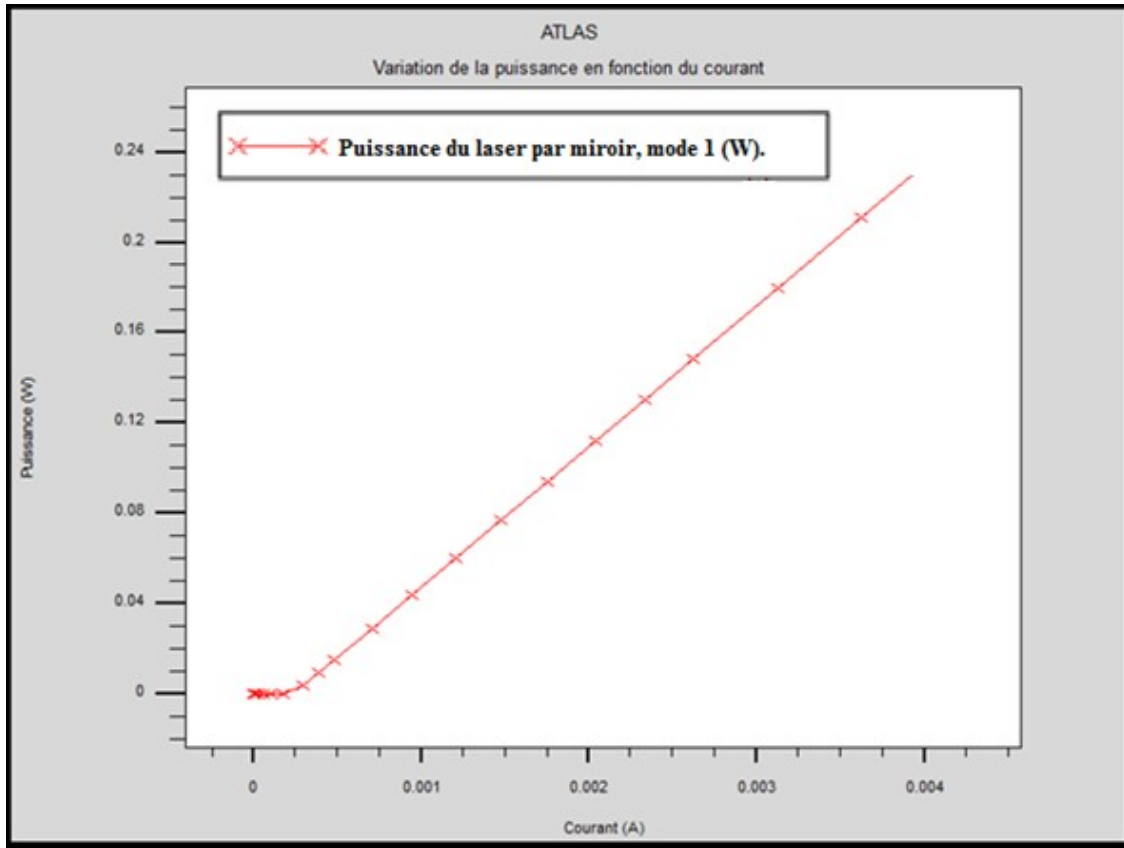


Figure III.5: Exemple d'affichage graphique d'un résultat par « TonyPlot ».

3.3. Résultats et discussions :

Dans cette partie nous allons présenter les principaux résultats des caractéristique optique de la diode laser obtenue suite à la simulation, principalement les paramètres du seuil laser et l'effet de confinement des porteurs par la structure.

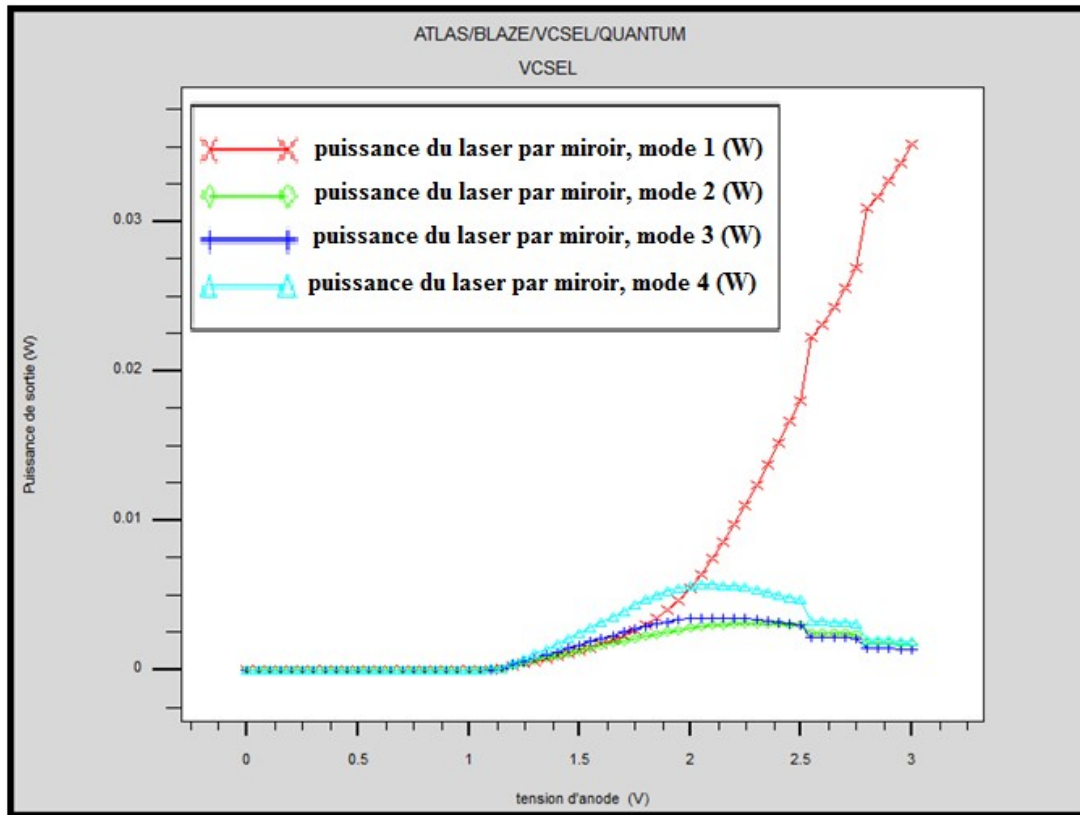
3.3.1. Puissance optique en fonction du courant P(I):



La figure III.8: Variation de la puissance optique émise en fonction du courant

D'après l'allure de la courbe représenté sur la figure (III.8), on constate qu'après la polarisation de la diode la puissance émise est nulle avant que le courant n'atteigne 0,25 mA, pour $I > 0,25$ mA La puissance émise est proportionnelle à l'intensité du courant I atteint rapidement des valeurs plus élevées. La valeur $I = 0,25$ mA correspond à la valeur du courant de seuil. C'est l'intensité de courant nécessaire pour réaliser l'inversion de population et avoir un effet laser pour ce dispositif, qui est le courant de seuil qu'on a vu a la partie théorique.

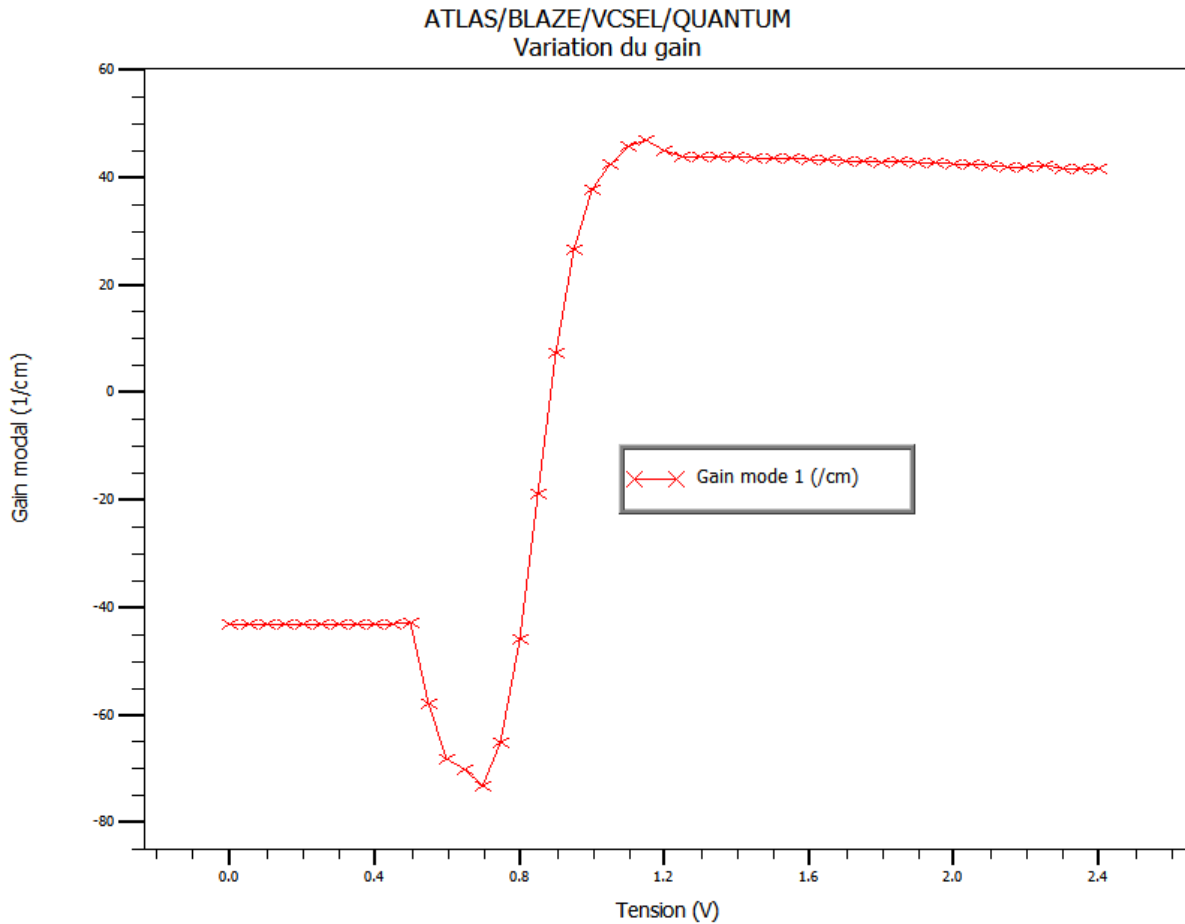
3.3.2. Puissance de sortie en fonction de la tension P(V) suivant les modes



La figure III.9: Variation de la puissance optique émise en fonction de la tension selon les modes.

Selon la (Figure III.9) l'effet de saturation du gain est clairement visible après le seuil du laser qui est à une tension de 0,2V. Les spectres de sortie de lumière augmentent particulièrement celui du mode 1 qui continue l'augmentation et atteint une plus grande valeur contrairement aux autres modes (2, 3, et 4) qui diminuent après peu d'émission, on constate que le mode 1 de la cavité est le plus adapté pour l'émission du laser et cela revient à sa longueur d'onde qui est plus convenable à l'émission stimulé.

3.3.3. Variation du gain en fonction de la tension :



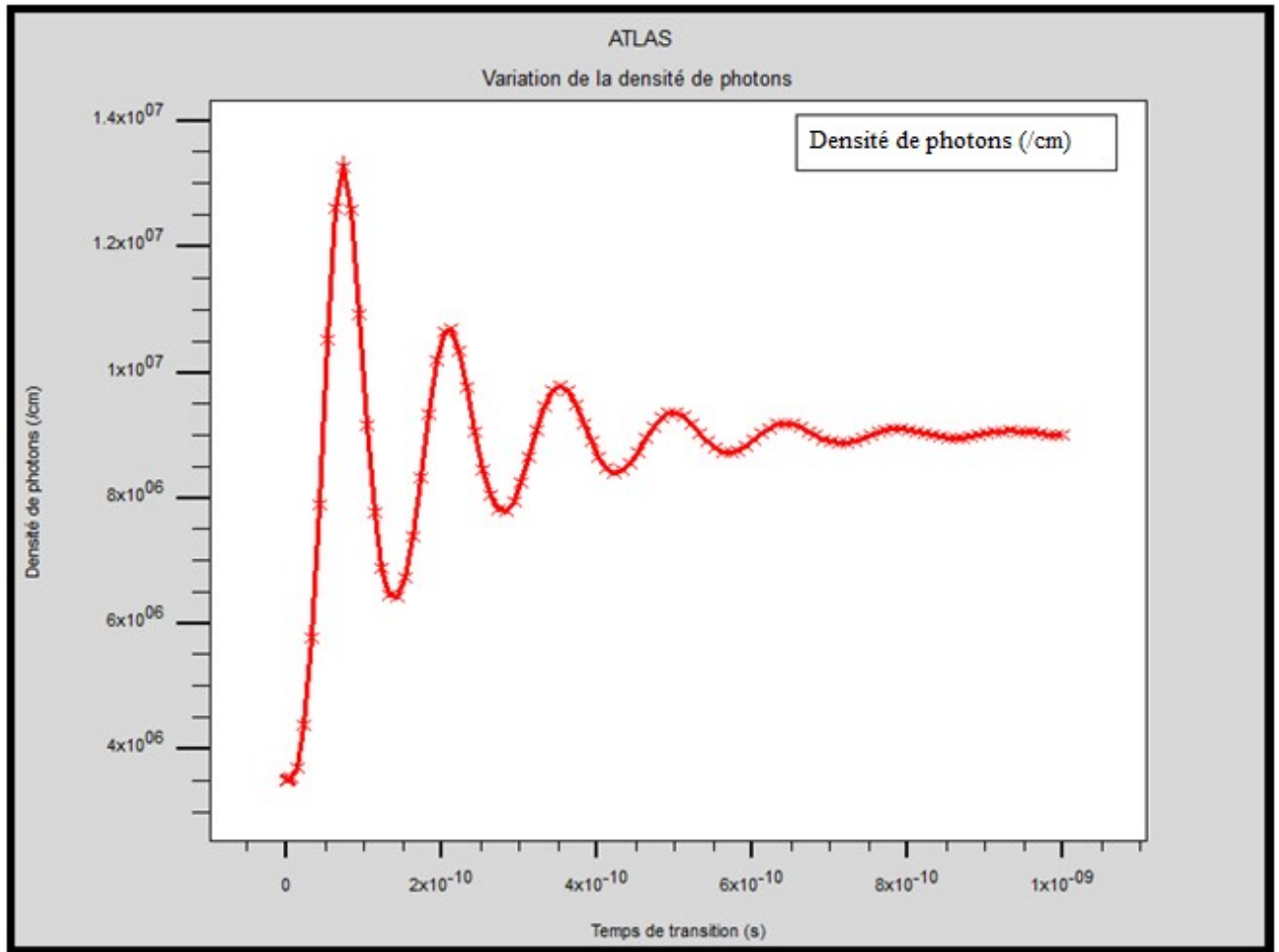
La figure III.10: Variation du gain en fonction de la tension.

La figure ci-dessus obtenue après simulation nous montre que le gain varie en fonction de la tension en diminuant d'abord un peu puis évoluant exponentiellement de valeurs négatives vers des valeurs positives élevées. Atteignant ainsi son seuil de saturation à une valeur de 45 pour les valeurs de tension supérieure à 1.2V.

Ces régimes d'évolution illustrent le mécanisme du gain dans la cavité tel que :

- La décroissance aux valeurs négatives du gain est due aux pertes internes de la cavité au début de la polarisation,
- La croissance rapide s'explique par la réaction en chaîne induite par l'émission stimulée.
- Le gain atteint son seuil de saturation à la valeur de tension de seuil, c'est-à-dire qu'à cette valeur de tension maximale produite de l'émission stimulée les pertes de la cavité sont compensées.

3.3.4. Variation de la densité de photons :

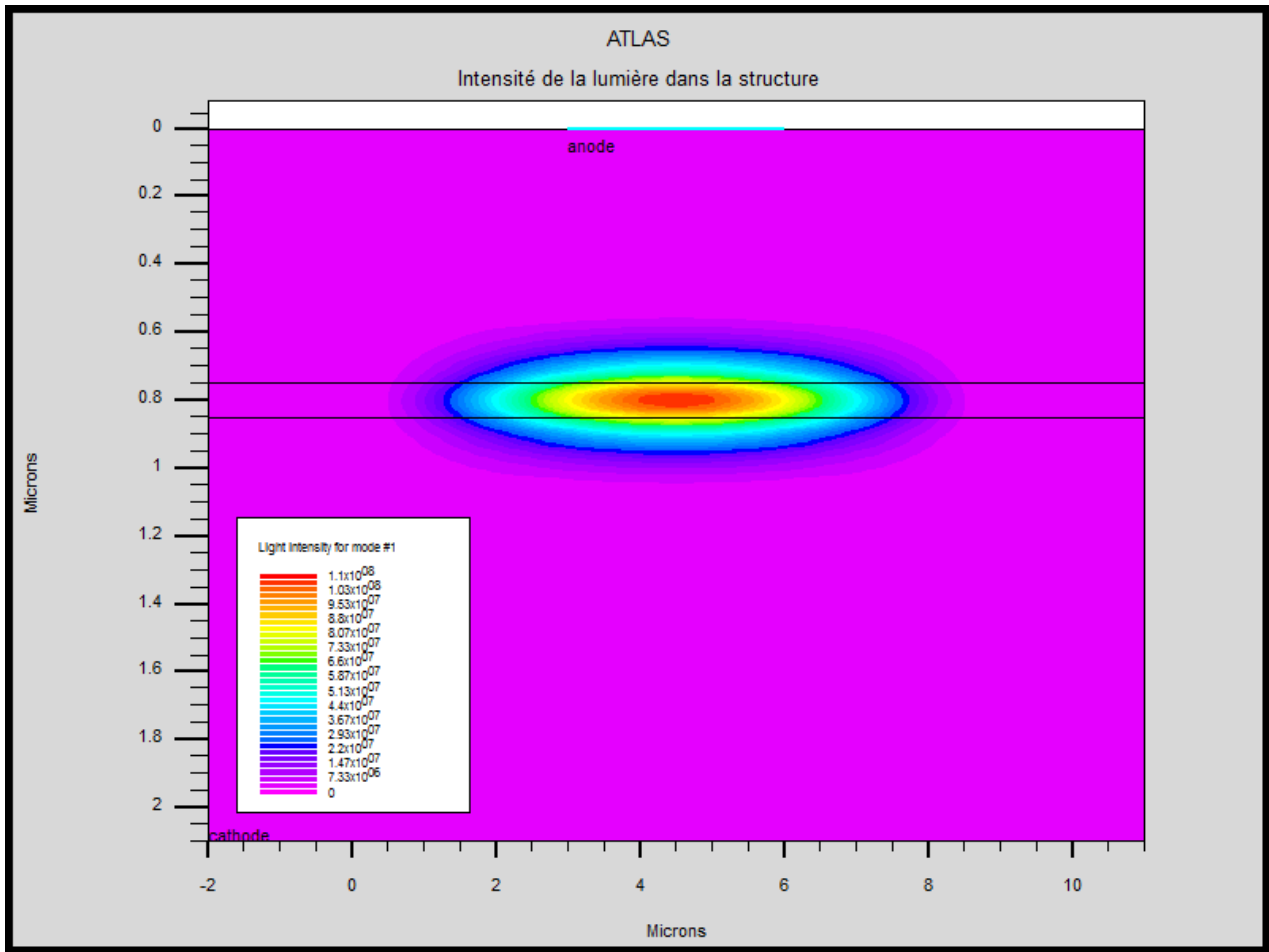


La figure III.11: Variation de la densité de photons.

Nous pouvons diviser le graphe représenté sur la figure(III.11) par trois phases différentes de la transition de densité de photons, une augmentation au début puis elle commence à diminuer et elle fini par se stabiliser.

Cette variation illustre l'occupation des trous par les électrons tel qu'au début les électrons rejoignent les trous et donnent des photons considérablement et cela explique l'augmentation de densité, par la suite cette dernière diminuent avec le temps car les trous commencent à être occupés et y a moins de photons créés qu'au début jusqu'a ce que la densité se stabilise autour d'une valeur de 9×10^6 (photon/cm).

3.3.5. Intensité de la lumière laser dans la structure :



La figure III.12: intensité de lumière dans la structure.

D'après la figure III.12 on remarque que l'intensité de la lumière est concentrée au niveau de la partie active de la structure ce qui confirme que l'effet laser est produit dans cette région.

3.4. Conclusion

Les services de modélisation TCAD de SILVACO offrent un avantage de modélisation de dispositifs à semi-conducteurs. L'utilisation du service de modélisation TCAD permet d'accéder à l'expertise de SILVACO en physique des semi-conducteurs et au fonctionnement du logiciel TCAD pour fournir une solution complète, rapide et précise grâce à ses algorithmes puissants.

Suivant les résultats obtenus, nous constatons que le matériau choisi donne des résultats prometteurs, vu la variation du gain, le courant de seuil qui est d'une valeur faible et les puissances d'émission élevées. Par conséquent nous pouvons obtenir un bon rendement du faisceau laser avec de bonnes caractéristiques.

Conclusion générale

L'étude des dispositifs optoélectroniques semi-conducteurs est un domaine de recherche très actif, en particulier la branche des télécommunications optiques. Depuis l'avènement des réseaux internet, le besoin en communications fiables à haut débit ne cesse de croître. La fibre optique offre un support de transmissions très fiable, mais il reste sous exploité car ses limites théoriques en matière de débit ne sont toujours pas atteintes. Le défi technologique consiste donc à concevoir des dispositifs d'émission et de réception pouvant atteindre des débits de l'ordre de plusieurs centaines de téraoctets/s. Pour cela des lasers à semi-conducteurs très performants et de plus en plus complexes sont mis au point. L'importance de ces dispositifs a poussé les chercheurs à développer et à améliorer leurs caractéristiques.

Notre travail consistait à étudier les propriétés structurales d'un émetteur optique qui est le laser à semi-conducteurs III-V. Nous avons décrit brièvement les différentes propriétés des semi-conducteurs et leurs structures. Ensuite nous avons étudié le fonctionnement des lasers et les phénomènes physiques entrant dans l'émission de la lumière, notamment l'émission stimulée. Cette étude nous a confirmé l'importance de ce dernier dans le rendement du faisceau laser.

Après différentes simulations de la structure choisie du laser sous l'environnement SILVACO-TCAD, nous avons pu évaluer les différentes caractéristiques, courant de seuil, puissance et gain optiques. Enfin on peut dire que le matériau choisi (GaAs, GaAlAs) assure un bon effet laser.

Les références bibliographiques :

- [1] Jean-Claude Montagné, «Histoire des moyens de communication à distance : première époque, de l'Antiquité au milieu du XXe siècle» 5/11/2013 (2^{eme} édition)
- [2] MULLER Xavier, «Le laser, histoire d'une découverte lumineuse», CNRS Le journal 04.08.2015.
- [3] WIKIPEDIA, consulté le (15/06/2021) [en ligne] : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Laser>
- [4] IKRELEF Nadia, «Etude du Transport Electronique dans les Polymères Conducteurs et les Matériaux Organiques», thèse de Doctorat d'état Es, université d'Oran.
- [5] Les semi-conducteur -Jonction PN [en ligne] : WWW.unilim.fr
- [6] R. Planel, Propriétés optiques des semi-conducteurs et de leurs hétérostructures, Laboratoire de Microstructures et de Microélectronique
- [7] Mark Csele. «Fundamentals of LIGHT Sources and Lasers», United States of America, a Wiley-Inter-science publication, 2004.
- [8] B. Khaled, B. Ferhat, « Modélisation d'un émetteur optique avec SILVACO-TCAD » mémoire de master, université A. Mira Bejaia, 2017/2018.
- [9] SILVACO consulté le (04/07/2021) [en ligne] : <https://silvaco.com>

Résumé

Les dispositifs optoélectroniques semi-conducteurs occupent une place de choix dans le domaine des communications par fibre optique. Notre travail consistait à étudier les propriétés structurales d'un émetteur optique qui est le laser à semi-conducteurs. Nous avons décrit brièvement les différentes propriétés des semi-conducteurs et leurs structures. Ensuite nous avons étudié le fonctionnement des lasers et les phénomènes physiques entrant dans l'émission de la lumière, notamment l'émission stimulée. Cette étude nous a confirmé l'importance de ce dernier dans le rendement du faisceau laser.

Mots clé : SILVACO ATLAS, AlGaAs/GaAs.

Abstract

Semiconductor optoelectronic devices occupy a prominent place in the field of optical fibre communications. Our job was to study the structural properties of an optical transmitter which is the semiconductor laser. We briefly described the different properties of semiconductors and their structures. We then studied the functioning of lasers and the physical phenomena involved in the emission of light, including stimulated emission. This study confirmed the importance of the latter in the efficiency of the laser beam.

Key Words: SILVACO ATLAS, AlGaAs/GaAs.

المخلص

وتحتل أجهزة أشباه الموصلات مكانا بارزا في مجال اتصالات الألياف البصرية. وكان عملنا هو دراسة الخصائص الهيكلية لجهاز إرسال بصري وهو ليزر أشباه الموصلات. لقد وصفنا بإيجاز الخصائص المختلفة لأشباه الموصلات وهياكلها. ثم درسنا عمل الليزر والظواهر الفيزيائية التي ينطوي عليها انبعاث الضوء ، بما في ذلك الانبعاثات المحفزة. وأكدت هذه الدراسة أهمية هذه الأخيرة في كفاءة شعاع الليزر

الكلمات الرئيسية : SILVACO ATLAS, AlGaAs/GaAs