

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

**Université HAMMA Lakhdar El-Oued**  
**Faculté de technologie**  
**Département de génie électrique**



Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de

**Master en**  
**Télécommunications**  
**Option**  
**Systèmes Des Télécommunications**  
**Intitulé**

**Etude et optimisation d'une diode laser**  
**a base de matériaux III-V**

***Présentée par :***

*SEBBAGH Housseine*  
*MEDDOUR Messaoud*

*devant les membres du jury :*

***Dr TIDJANI Amina***

**Président**

***Dr HIMA Abd-elkader***

**Examinateur**

***Dr HATIRI Messaoud***

**Encadreur**

***Dr SADO UN Ali***

**Co-encadreur**

**Année Universitaire : 2020/2021**

# Remerciment

*Ce travail a été réalisé à l'université  
HAMMA Lakhdar El-Oued*

*A l'issu de ce travail,*

*Nous voudrions exprimer toute nous reconnaissances à  
notre encadreur Pr hatiri messaoud et Dr sadoun ali,  
enseignants à l'université de HAMMA Lakhdar El-  
Oued , pour ses encouragements incessants et ses  
conseils précieux qu'il prodiguer tout au long de la  
réalisation de ce mémoire.*

*Nous tenons également à remercier les membres de jury  
Dr hima abd-elkader et Dr tidjani amina qui ont  
accepté d'examiner ce mémoire en lui apportant de  
l'intérêt.*

*Enfin, Nous tenons à exprimer notre sincère  
reconnaissance à nos familles et nos amis qui m'ont  
donné encore le courage de poursuivre nos études.*

# *Dédicace*

*Nous dédions ce modeste travail :  
A nos très chers parents qui m'ont soutenu durant  
toute la  
durée de nos études.  
A nos familles.  
A nos collègues.  
A nous amis.  
A tous ceux qui m'aiment et que nous aime.*

*SEBBAGH housseyne/ MEDDOUR messaoud*

# *SOMMAIRE*



## *Liste des tableaux*

Tableau 1. 1. Tableau périodique partiel (les chiffres en bas représentent le nombre atomique) .....	5
Tableau 1. 2. paramètres caractéristiques pour quelques binaires III-V .....	7
Tableau 1. 3. Paramètre de réseau, le gap direct et le gap indirect pour les Binaires BN, GaN et AlN en phase zinc blende .....	10
Tableau 1. 4. valeurs $E_{\Gamma}$ , $E_{\Gamma X}$ pour les différentes concentrations en bore. ....	12
Tableau 2. 1. donne les travaux de sortie de quelques métaux .....	20
Tableau 2. 2. Les travaux de sortie et les affinités de semi-conducteur .....	21

## *Liste des Figures*

Figure 1. 1.Diagrammes énergétiques pour les trois types des matériaux.....	5
Figure 1. 1.Structure de bande de : (a) GaAs, (b) InAs .....	15
Figure 2. 1.Structure de bande métal-semi-conducteur de type n.....	21
Figure 2. 2.Diagramme de bande d'une hétérojonction anisotype, (a)avant contact, (b) après contact .....	22
Figure 2. 3.Schéma de bandes à l'équilibre thermique d'une hétérojonction abrupte du type « matériau de grand gap dopé n / matériau de gap réduit dopé p .....	23
Figure 2. 4.Diagramme d'énergie d'une hétérojonction anisotype BAlGaN/GaN avant contact .....	24
Figure 2. 5.PQ carré de largeur $L_z$ et de hauteur $V_0$ ; (b) : Couche d'un matériau semi- conducteur A possédant un gap inférieur à celui du matériau semi-conducteur B....	25
Figure 2. 6.Profil de puits quantique de type I.....	25
Figure 2. 7.Profil de puits quantique de type II.....	26
Figure 2. 8.Profil de puits quantique de type III .....	26
Figure 2. 9.Epitaxie par jets moléculaires de structure BAlGaN/GaN.....	29
Figure 3. 1.Le rôle de simulation .....	33
Figure 3. 2.L'environnement ATLAS .....	34
Figure 3. 3.L'outil Deck Build.....	35
Figure 3. 4.Structure de la diode simulée .....	35
Figure 3. 5.Maillage à deux dimensions (x,y).....	36
Figure 3. 6.Structure proposé (BAlGaN /GaN) (régions, Électrode et matériaux) ....	37
Figure 3. 7.Types de dopage .....	38
Figure 3. 8.Affichage graphique des résultats par « TonyPlot ».....	41
Figure 4. 1.Variation de Y en fonction de X.....	44

Figure 4. 2.Variation de l'indice de réfraction en fonction de la fraction molaire de bore .....	45
Figure 4. 3.Variation de longueur d'onde en fonction de la largeur de puits .....	46
Figure 4. 4.Variation du gain max en fonction de largeur de puits.....	47
Figure 4. 5.Variation du gain maximal en fonction de la pression .....	48
Figure 4. 6.Variation du gain maximal en fonction de la pression .....	48
Figure 4. 7.Variation du gain maximal en fonction de la Longueur d'onde.....	49
Figure 4. 8.Variation du gain maximal en fonction de la densité des porteurs.....	50
Figure 4. 9.Variation du gain maximal en fonction du courant de pompage .....	50

# *Sommaire*

Remerciement.....	I
Dedicace .....	II
Liste Des Tableaux.....	III
Liste Des Figures.....	IV
Sommaire.....	VI
Introduction General.....	1
<b>Chapitre I : Les Semi-Conducteurs III-V Et Le Nitrure De Gallium</b>	
1. INTRODUCTION .....	4
2. DEFINITION D'UN SEMI-CONDUCTEUR.....	4
2.1. Définition Des Semi-Conducteurs III-V.....	5
3.1. Définition D'un Alliage .....	6
.3.2 Classification des alliages .....	6
4. Propriétés Electroniques Des Alliages Semi-Conducteurs III-V .....	9
4.1. Paramètres De Maille.....	9
4.2. Structure De Bande.....	9
5. Caractéristiques des bandes.....	10
6. Effet de la température sur les alliages semi-conducteurs III-V .....	11
6.1. Effets de la température sur le gap d'énergie de l'alliage $B_xA_yGa_{(1-x-y)}N$ ...	11
6.2. Effet de la pression sur le gap d'énergie de l'alliage $B_xA_yGa_{(1-x-y)}N$ .....	12
7. Propriété et Avantages du GaN .....	13
7.1. Structure de bandes des semi-conducteurs III-V.....	13
7.2. Avantage Des Semi-conducteurs III-V .....	15
8. CONCLUSION .....	16
<b>Chapitre II: Heterostructures</b>	
1. INTRODUCTION .....	19

2.	Le Contact Métal Semi-Conducteur .....	19
2.1.	Travail De Sortie .....	19
2.2.	Affinité Electronique .....	20
3.	Hétérojonction .....	22
3.1.	Hétérojonction a l'équilibre thermique .....	22
□	Schéma de bandes .....	22
4.	Puits quantiques .....	24
4.1.	Types de puits quantiques .....	25
5.	Épitaxie .....	26
5.1.	Epitaxie des matériaux nitrures .....	27
5.2.	Epitaxie par jet moléculaires .....	27
5.3.	Avantages de l'utilisation l'épitaxie par jets moléculaires (EJM).....	28
5.4.	Épitaxie par jets moléculaires assistée par plasma .....	29
6.	CONCLUSION .....	30
7.	Bibliographie .....	31

### **Chapitre III : Modélisation De La Connaissance TCAD**

1.	INTRODUCTION .....	33
2.	Étude modèles physiques et logiciels de simulation.....	33
2.1.	L'environnement ATLAS .....	34
2.2.	ATHENA .....	35
2.3.	Spécifier le maillage initial .....	35
2.4.	Région .....	36
2.5.	Électrode .....	37
2.6.	Dopage .....	37
3.	Matériel et spécification du modèle.....	38
3.1.	Spécification de modèles physiques .....	38
3.2.	Spécification des caractéristiques de contact .....	39

3.3. Spécification des propriétés de l'interface.....	39
3.4. Sélection de la méthode numérique.....	39
3.5. Spécification de la solution.....	40
4. Analyse des résultats.....	40
5. Conclusion.....	41
6. Bibliographie.....	42

#### **Chapitre IV: Simulation De La Structure BAIGaN**

1. INTRODUCTION.....	44
2. La relation les compositions x et y.....	44
3. Indice de réfraction.....	45
3.1. Indice de réfraction d'alliage $B_xAlyGa_{1-x-y}N$ .....	45
4. Longueur d'onde d'alliage $B_xAlyGa_{1-x-y}N$ .....	45
4.1. Variation de Longueur d'onde en fonction de la largeur de puits.....	45
5. Gain maximal en fonction de la largeur de puits.....	46
6. Variation du gain maximal en fonction de la température.....	47
7. Variation du gain maximal en fonction de la pression.....	48
8. Variation du gain maximal en fonction de la Longueur d'onde.....	49
9. Variation du gain maximal en fonction de la densité des porteurs.....	49
10. Variation du gain maximal en fonction du courant de pompage.....	50
11. Conclusion.....	<b>51</b>
<b>Conclusion General.....</b>	<b>53</b>

#### **Résumé**

# *Introduction générale*



### **1. Introduction générale**

Le développement rapide dans le domaine de l'électronique et en particulier l'optoélectronique est du généralement à l'avènement des dispositifs puis des circuits intégrés à semi-conducteur qui est lie directement aux matériaux utilisés dans ces technologies de fabrication.

Ces dernières années, les Matériaux semi-conducteurs constituent les blocs de construction de base des émetteurs et des récepteurs de cellulaires, par satellite, et les composants de communication en fibre de verre, Parmi ceux-ci, les éléments III-V sont aujourd'hui largement utilisés ce sont d'excellents candidats pour la réalisation des composants optoélectroniques, Grâce à leur large bande interdite allant de l'ultraviolet (UV) de la région visible du spectre.

Ils ont (un point de fusion élevé, une conductivité thermique élevée, haute vitesse de saturation pour les électrons, Ces propriétés, ainsi que les lacunes à large bande sont étroitement liées à forte liaisons (ionique et covalente) collage. Ces matériaux peuvent présente un grand intérêt pour la fabrication des dispositifs.

Les semi-conducteurs de matériaux nitrurés (InN, GaN, AlN) sont étudiés dans les laboratoires depuis les années 70, et leur grand potentiel d'application notamment dans le domaine des dispositifs émetteurs de lumière et dans celui de l'électronique fonctionnant. Le composé nitrure de gallium (GaN) utilisé dans la fabrication de composants électroniques tels que la diode Schottky (MS), la structure semi-conductrice à isolant métallique (MIS), MOS, transistor,... etc. Le composé GaN est un semi-conducteur à bande interdite directe avec  $E_g = 3,22$  eV et un paramètre de réseau  $a = 4,52$  Å à 300 K

Notre participation basée à cet effort de compréhension des propriétés remarquables de BAlGaN appuie sur les techniques de spectroscopie optique, cela nous a permis d'optimiser les conditions de croissance pour incorporation du bore dans AlGaN liées à la croissance de hétérostructures.

Nous étudions la croissance de BAlGaN sur substrat de modèle GaN. Nous avons cultivé deux échantillons de Bore (12.5% ; 3.5%) pour voir une bonne condition adaptation entre les deux structures.

D'une manière résumée, notre travail dans ce mémoire est scindé en quatre chapitres présenté de la façon suivante :

- Dans le premier chapitre, on présente une étude sur les matériaux III-V, ainsi que des généralités sur les alliages.
- Dans le deuxième chapitre, on étudiera le contacte entre deux matériaux différents, et comment fait les hétérojonctions, le puis quantique et les épitaxies des matériaux à base de nitrure.
- Dans le troisième chapitre nous présenterons les structures d'étude par le logiciel de simulation Silvaco, ses modules et outils de simulation ; nous décrirons ensuite les procédés technologiques nécessaires à la réalisation de notre structure la diode laser en utilisant l'outil de simulation « Athéna ».
- Dans le dernier chapitre on a déterminé les valeurs maximales des éléments fonctionnels à partir des méthodes graphiques et l'outil de calcul Matlabe et silvaco, sans oublier la fixation des paramètres technologiques, que nous avons proposés.

Enfin, ce travail est achevé par une conclusion générale.

*CHAPITRE I*  
*LES SEMI-CONDUCTEURS*  
*III-VET LE NITRURE DE GALLIUM*



## 1. INTRODUCTION

Des perspectives très prometteuses s'offrent aux semi-conducteurs composés III-V, en raison de leurs propriétés intrinsèques remarquables. Ils sont en effet dotés d'une forte mobilité électronique et, le plus souvent, d'une bande interdite directe permettant l'émission de lumière. Ces propriétés leur offrent un large champ d'applications nouvelles dans des domaines très divers incluant la microélectronique rapide digitale et analogique, les composants électroniques de puissance hyperfréquence et l'optoélectronique intégrée.

En électronique rapide et en optoélectronique, les composés semi-conducteurs III-V sont préférables que d'autres (les propriétés du silicium par exemple sont insuffisantes : mobilités des porteurs relativement petites et transition électroniques indirectes au seuil d'absorption optique). On citera par exemple quelques composés binaires et ternaires, GaAs, InP, GaAlAs, InGaAs,...

Les propriétés de ces matériaux sont très intéressantes pour les performances de ces dispositifs.

## 2. DEFINITION D'UN SEMI-CONDUCTEUR

Un semi-conducteur est un matériau qui a les caractéristiques électriques d'un isolant, mais pour lequel la probabilité qu'un électron puisse contribuer à un courant électrique, quoique faible, est suffisamment importante. En d'autres termes, la conductivité électrique d'un semi-conducteur est intermédiaire entre celle des métaux et celle des isolants. On différencie trois types des matériaux : les isolants, les conducteurs et les semi-conducteurs.

Deux bandes d'énergie permises jouent un rôle particulier :

- La dernière bande complètement remplie, appelée « bande de valence »
- La bande d'énergie permise suivante appelée « bande de conduction »

La bande de Valence et la bande de conduction sont séparées par un espace appelé « bande interdite » [1].

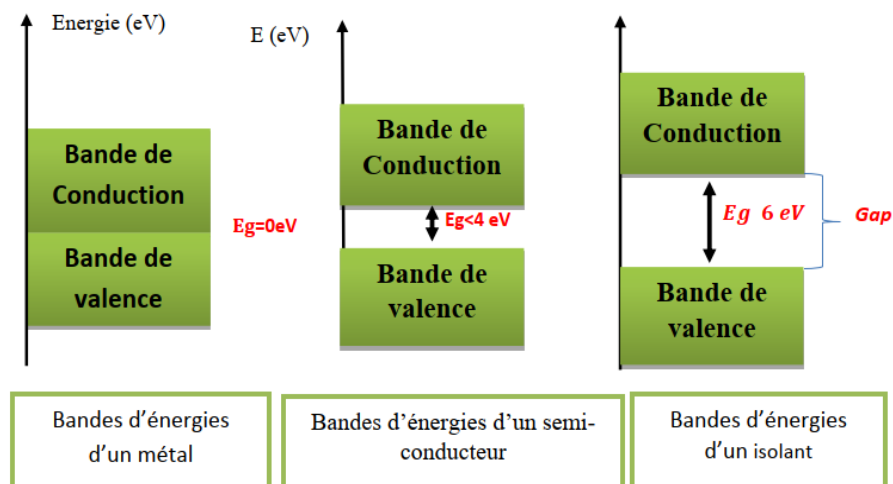


Figure 1. 1. Diagrammes énergétiques pour les trois types des matériaux

### 2.1. Définition Des Semi-Conducteurs III-V

Un semi-conducteur III-V est un semi-conducteur composite fabriqué à partir d'un ou plusieurs éléments de la colonne III du tableau périodique des éléments (bore, aluminium, gallium, ...), et d'un ou plusieurs éléments de la colonne V (azote, phosphore, arsenic, antimoine, ...). [2].

Tableau 1. 1. Tableau périodique partiel (les chiffres en bas représentent le nombre atomique)

$III_b$	$IV_b$	$V_b$
$Al_{13}$	$Si_{14}$	$P_{15}$
$Ga_{31}$	$Ge_{32}$	$As_{33}$
$In_{49}$	$Sn_{50}$	$Sb_{51}$

### 3. ALLIAGES

#### 3.1. Définition D'un Alliage

En appelle alliage, une combinaison de deux ou plusieurs métaux, ou d'un métal et d'un autre élément (comme le carbone, par exemple).

Il existe trois grandes familles d'alliages :

- les alliages à base de fer,
- les alliages à base de cuivre,
- les alliages à base d'aluminium.

Citons parmi les alliages les plus connus : la fonte (fer et carbone), l'acier (fer et carbone), le bronze (cuivre et étain) ou encore le laiton (cuivre et zinc).

Les alliages sont produits dans le but d'améliorer les propriétés d'un métal ou même de lui conférer des propriétés inédites. Pour fabriquer un alliage homogène, il faut que les métaux qui le composent soient miscibles entre eux.

En les chauffant, il faut en effet qu'ils puissent se mélanger parfaitement afin que les espèces qui le composent ne soient plus distinguables. Mais comme généralement les éléments ne sont pas parfaitement miscibles, certaines proportions doivent être respectées pour assurer la production d'un bon alliage.[3].

#### 3.2. Classification des alliages

Les alliages semi-conducteurs sont classés en plusieurs groupes selon le nombre de constituants :

##### 3.2.1. Alliages binaires

Les alliages binaires sont de la forme  $A^{III} B^V$ . Le tableau 1.2 résume quelques composés binaires avec leurs paramètres principaux.

Avec

$E_g$  : énergie de bande interdite.

$\lambda_g$  : longueur d'onde du seuil d'absorption.

$m^*$  : masse effective des électrons

$a_0$  : paramètre de réseau.

Tableau 1. 2.paramètres caractéristiques pour quelque binaires III-V

composé III-V	$E_g$ (eV)	$\lambda_g$ ( $\mu\text{m}$ )	$m^*/m_0$	$a_0$ ( $\text{\AA}$ )	Structure de la bande interdit
BN	$\approx 7.5$	0.17		3.615	indirect
AlP	2.45	0.51		5.463	indirect
AlAs	2.16	0.57		5.661	indirect
AlSb	1.58	0.75	0.12	6.138	indirect
GaP	2.26	0.55	0.82	5.449	indirect
GaAs	1.42	0.87	0.063	5.653	direct
GaSb	0.72	1.85		6.095	direct
InP	1.35	0.92	0.08	5.868	direct
InAs	0.36	3.44	0.023	6.058	direct
InSb	0.17	7.30	0.014	6.479	direct

### 3.2.2. Alliages ternaires : nous avons deux types

- Alliage ternaire anionique :  $A^{III} B^V_x C^V_{1-x}$ .
- Alliage ternaire cationique :  $A^{III}_x B^{III}_{1-x} C^V$ .

Ces alliages sont caractérisés par la présence du coefficient stœchiométrique  $x$ . Ci-dessous, on citera les alliages ternaires les plus importants et les plus étudiés :

#### a) gamme des Arséniures (Arsenides)

Nous avons le AlGaAs qui est son rôle clé dans une variété de dispositifs optoélectroniques et transistors, GaInAs est un élément clé dans les régions actives de périphériques électroniques à haut débit et AlInAs servant d'une couche barrière dans les systèmes hétéro-structures.

**b) gamme des phosphures (phosphides)**

Nous avons le GaInP qui présente une large bande interdite parmi les semi-conducteurs III-V non nitrures, AlInP a un gap direct lorsque  $x < 0.44$  pour  $E_g = 2.4$  eV et AlGaP a un gap direct pour toute concentration.

**c) gamme des antimoniures (antimonides)**

Nous avons le GaInSb, AlInSb et AlGaSb.

**d) gamme antimoniures arséniures (arsenides antimonides)**

Nous avons le GaAsSb, InAsSb et AlAsSb.

**e) Gamme des phosphures arséniures (Arseni des phosphides)**

Nous avons le GaAsP, InAsP et AlAsP.

**f) Gamme des antimoniures phosphures (Phosphides antimonides)**

Nous avons le GaPSb, InPSb et AlPSb.

**g) Gamme des nitrures (Nitrures)**

Nous avons le GaInN, AlGaN, AlInN, GaAsN, GaPN, InPN, InAsN, BGaN et BAlN.

**3.2.3. Alliages quaternaires** : il existe deux types de solutions

➤ **Les solutions quadratiques** :  $A_{III}^{1-x} B_{III}^x C V_y D V_{1-y}$

➤ **Les solutions triangulaires** : on distingue :

Des solutions purement anioniques  $A_{III} B V_x C V_y D V_{1-x-y}$ .

Des solutions purement cationiques  $A_{III}^x B_{III}^y C_{III}^{1-x-y} D V$ .

Ces alliages sont caractérisés par la présence de deux coefficients stœchiométriques  $x$  et  $y$ .

On peut classer les quaternaires en fonction des substrats qui correspondent :

**a) Les quaternaires en accord de maille avec GaAs :**

- AlGaInP
- GaInAsP
- AlGaInAs
- GaInAsN

**b) Les quaternaires en accord de maille avec InP :**

- GaInAsP
- AlGaInAs
- GaInAsSb

**c) Les quaternaires en accord de maille avec InAs :**

- GaInAsSb
- AlGaAsSb
- InAsSbP

**d) Les quaternaires en accord de maille avec GaSb :**

- GaInAsSb
- AlGaAsSb

**3.2.4. Alliages quinaires**

À titre d'exemple : l'Arséniure-antimoniure-nitride de gallium-indium (GaInNAsSb) et l'Arséniure-antimoniure-phosphure de gallium-indium (GaInAsSbP) [4].

**4. Propriétés Electroniques Des Alliages Semi-Conducteurs III-V**

**4.1. Paramètres De Maille**

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 alpha, bêta et gamma. 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  $\alpha = \beta = 90^\circ$ ).

**4.2. Structure De Bande**

La connaissance de la structure de bande d'un semi-conducteur est le paramètre essentiel pour la réalisation de dispositifs. Un des points importants de la structure de bande est la valeur de l'énergie séparant le maximum de la bande valence du minimum de la bande de conduction ("gap" du matériau).

Les nitrures d'éléments III possèdent en général un gap direct c'est-à-dire que le minimum de la bande de conduction et le maximum de la bande de valence se trouvent alignés dans "l'espace des k" au centre de la zone de Brillouin.

Le Tableau montre le paramètre de réseau, le gap direct et le gap indirect pour les nitrures BN, GaN et AlN en phase zinc blende trouvé dans littératures, il y a des valeurs théoriques qui sont calculé par des méthodes de calcul (FPLAPW-LMTO) et des valeurs expérimentales ont été déterminées par la technique de la double diffraction des rayons X (DDX) [5].

**Tableau 1. 3. Paramètre de réseau, le gap direct et le gap indirect pour les Binaires BN, GaN et AlN en phase zinc blende**

	<b>a0 (Å)</b>	<b>E<sub>Γ</sub> (ev)</b>	<b>E<sub>Γ</sub>X (ev)</b>
<b>BN</b>	(3.615), (3.575) , (3.576),(3.649) , (3.606),(3.623)[30]	(8.89) ,(8.60) , (9.09)[31]	(4.75) , (4.24) [31]
<b>AlN</b>	(4.37), (4.349) , (4.32),(4.42) [32]	(4.25),( 4.50), (5.94) [31]	(3.21) ,( 3.1) , ( 4.26) [33 ]
<b>GaN</b>	(4.50),(4.461) , (4.45),(4.537) [32]	(3.52) , (3.30) , (3.35) [31]	(3.5) [31]

## 5. Caractéristiques des bandes

Le comportement des semi-conducteurs, comme celui des métaux et des isolants est décrit via la théorie des bandes. Ce modèle stipule qu'un électron dans un solide ne peut prendre des valeurs d'énergie comprises dans certains intervalles qu'on appelle «bandes», plus particulièrement bandes permises, lesquelles sont scindés par d'autres «bandes» nommées bandes d'énergie interdites ou bandes interdites.

Quand la température du solide tend vers le zéro absolu, deux bandes d'énergie permises jouent un rôle spécifique :

- la dernière bande totalement remplie, nommée «bande de valence»
- 3. la bande d'énergie permise suivante nommée «bande de conduction»

La bande de valence est riche en électrons mais ne participe pas aux phénomènes de conduction (pour les électrons). La bande de conduction, quant à elle, est soit vide (comme aux températures proches du zéro absolu dans un semi-conducteur) soit semi-remplie (comme dans le cas des métaux) d'électrons. Cependant c'est elle qui permet aux électrons de circuler dans le solide.

Dans les conducteurs (métaux), la bande de conduction et la bande de valence se chevauchent. Les électrons peuvent par conséquent passer directement de la bande de valence à la bande de conduction et circuler dans tout le solide.

Dans un semi-conducteur, comme dans un isolant, ces deux bandes sont scindées par une bande interdite, nommée fréquemment «gap». L'unique différence entre un semi-conducteur et un isolant est la largeur de cette bande interdite, largeur qui donne à chacun ses propriétés respectives.

Dans un isolant cette valeur est si grande (aux alentours de 6 eV pour le diamant par exemple) que les électrons ne peuvent passer de la bande valence à la bande de conduction : les électrons ne circulent pas dans le solide.

Dans les semi-conducteurs cette valeur est plus petite (1, 12 eV pour le silicium, 0, 66 eV pour le germanium, 2, 26 eV pour le phosphure de gallium). Si on apporte cette énergie (ou plus) aux électrons, par exemple en chauffant le matériau, ou en lui appliquant un champ électromagnétique, ou encore occasionnellement en l'illuminant, les électrons sont alors capables de passer de la bande de valence à la bande de conduction, et de circuler dans le matériau [6].

## 6. Effet de la température sur les alliages semi-conducteurs III-V

### 6.1. Effets de la température sur le gap d'énergie de l'alliage $B_xAlyGa(1-x-y)N$

La dépendance du gap d'énergie avec la température est donnée par le modèle de VARSHNI.

Le gap direct et indirect de l'alliage  $B_xAlyGa(1-x-y)N$  est une fonction de la température. Il peut être donné par la relation suivante :

$$E_{TT}(X, T) = 0.1469 \left(1 - \frac{X}{0.1469}\right) * 7. + 0.1469 \left(1 - \frac{X}{0.1469}\right) \left(4.24 - \frac{1.799 * 10^{-4} * T^2}{1462 + T}\right) - \left(X + \frac{X}{0.1469}\right) * \left(1.80 - \frac{0.909 * 10^{-4} * T^2}{830 + T}\right) \quad (1.1)$$

Le Tableau 1. 4, donne les valeurs du gap direct et indirect pour les différentes concentrations du bore.

Tableau 1. 4. valeurs E<sub>ΓΓ</sub>, E<sub>ΓX</sub> pour les différentes concentrations en bore.

		Température (k)							
		100	150	200	250	300	350	400	450
E <sub>ΓΓ</sub>	11%Bore	4.293	4.292	4.291 4	4.289	4.287	4.285	4.283	4.280
	3.7%Bore e	4.264	4.262	4.261	4.259	4.256	4.254	4.251	4.247
E <sub>ΓX</sub>	11%Bore	3.564	3.563	3.562	3.560	3.558	3.556	3.554	3.551
	3.7%Bore e	3.327	3.326	3.324	3.322	3.320	3.317	3.314	3.311

On constate que le gap direct et indirect d'énergie de l'alliage B<sub>x</sub>AlyGa(1-x-y)N diminue quand la température augmente. La température n'a aucun effet sur leur nature.

## 6.2. Effet de la pression sur le gap d'énergie de l'alliage B<sub>x</sub>AlyGa(1-x-y)N

Le gap direct et indirect d'énergie de l'alliage B<sub>x</sub>AlyGa(1-x-y)N en fonction de la pression est donné par les relations suivante :

$$E_{TT}(x, p) = X(7.5 + 3 * 10^{-3} * P) + (1 - \frac{X}{0.1469})(4.24 + 3.6 * 10^{-3} - 1.7 * 10^{-6} * P^2)(-X - \frac{X}{0.1469})(1.8 * 4.2 * 10^{-3} * p - 1.8 * 10^{-5} * P^2) \quad (1.2)$$

Tableau 1. 5. valeurs  $E_{\Gamma}$ ,  $E_{\Gamma X}$  pour les différentes concentrations en bore

		Pression (Kbar)					
		0	20	40	60	80	100
$E_{\Gamma}$	11%Bore	4.294	4.368	4.432	4.486	4.531	4.567
	3.7%Bore	4.265	4.337	4.405	4.469	4.528	4.584
$E_{\Gamma X}$	11%Bore	3.515	3.639	3.703	3.757	3.802	3.838
	3.7%Bore	3.328	3.400	3.468	3.532	3.592	3.648

Le Tableau 1. 5 montre que Le gap direct et indirect de l'alliage  $B_xAl_yGa_{(1-x-y)}N$  augmente quand la pression augmente. La pression n'a également aucune influence sur leur nature [7].

## 7. Propriété et Avantages du GaN

### 7.1. Structure de bandes des semi-conducteurs III-V

Les bandes d'énergie donnent les états d'énergie permis pour les électrons en fonction de leurs vecteurs d'onde. On les représente donc dans l'espace réciproque, et pour simplifier, dans les directions de plus hautes symétries de la première zone de Brillouin.

Elles se décomposent en bande de conduction la plus haute, la bande de valence la plus basse, et la bande interdite qui les sépare, elle détermine principalement les propriétés de transport du semi-conducteur.

#### a- Structure de bande du GaAs

Pour le GaAs, le maximum de la bande de valence est en  $K=0$  et celle-ci est doublement dégénérée avec deux branches confondues au centre de la zone de Brillouin (Figure 1.2 (a)).

Les deux bandes décrivent la disposition de porteurs de masses effectives différentes, la masse des trous lourds est de  $0.68m_0$ , celle des trous légers de  $0,12m_0$  où  $m_0$  est la masse de

l'électron au repos. Une troisième branche de la bande de valence est abaissée par rapport aux deux premières d'une énergie, égale à 0,33 eV.

La bande de conduction présente, au centre de la zone de Brillouin ( $K=0$ ) un minimum non dégénéré, qui est une vallée à symétrie ( $\Gamma$ ) appelée vallée centrale.

Il existe également d'autres minima à des niveaux d'énergie plus élevés, les 4 vallées à symétrie L dans la direction  $\langle 111 \rangle$  et les directions équivalentes.

D'après la courbure des différentes vallées, à laquelle est reliée la masse effective des électrons beaucoup plus légers et donc beaucoup plus mobiles que dans les vallées X et L.

Cette propriété est en partie responsable de certaines caractéristiques des phénomènes de transport dans le semi-conducteur GaAs.

L'arséniure de gallium étant un composé à gap direct, les transitions électroniques les moins énergétiques entre la bande de valence et la bande de conduction peuvent se faire avec conservation du vecteur d'onde K (sans l'intervention des phonons) [8].

### **b- Structure de bande de In As**

Le InAs est un composé III-V à transition direct. Cela signifie que l'énergie minimale ( $\Gamma$  15) de la bande de conduction et l'énergie maximale ( $\Gamma$  15) de la bande de valence sont localisées au centre de la zone de Brillouin (figure 1.2 (b)). Ceci a des conséquences importantes du point de vue des propriétés électroniques et optiques. La bande de conduction présente par ailleurs une courbure généralement très accentuée au voisinage de son minimum ( $\Gamma$ ). L'allure générale des bandes est la même pour tous les composés III-V dont la structure de bande est directe (InP, InSb, GaAs, GaSb,...).

La masse effective des électrons étant inversement proportionnelle à cette courbure, ceci explique pourquoi dans les

semi-conducteur III-V à bande interdite directe comme GaAs, InP, GaInAs,...etc, la masse effective des électrons en ( $\Gamma$ ) est très faible, et par conséquent, la mobilité électronique élevée [8].

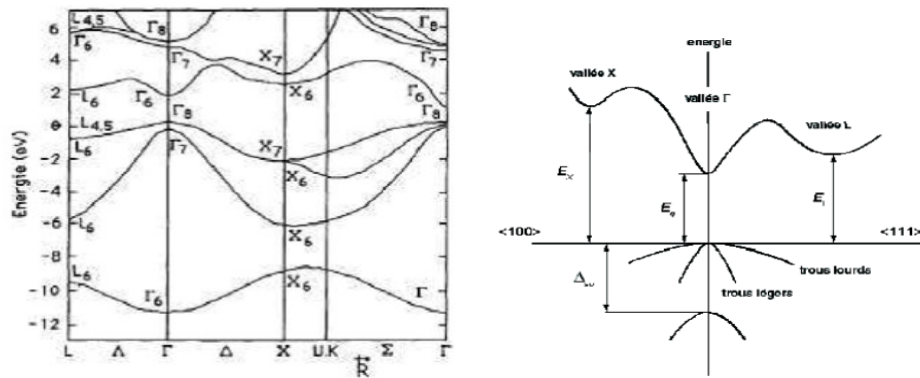


Figure 1. 1. Structure de bande de : (a) GaAs, (b) InAs

## 7.2. Avantage Des Semi-conducteurs III-V

Les principaux avantages des semi-conducteurs III-V sont les suivants :

- leur propriété semi-isolant (substrat SI) permet la fabrication des circuits hyperfréquences.
- leur résistance aux radiations.
- leur capacité de travailler à des températures plus importantes que celle du silicium standard, ce qui est important pour les applications militaires.
- Leurs performances vitesse/consommation nettement supérieure à celles des calculateurs utilisant des circuits en silicium (applications numériques).
- Leur très vaste domaine de fréquences couvert puisqu'il s'étend de 1 GHZ à plus de 100 GHZ.

Ce dernier aspect est fondamental, parce que les composants à base de silicium sont actuellement limités à une fréquence inférieure à quelque Giga Hertz

La filière des composés III-V est la seule filière hyperfréquence dont la technologie soit actuellement mature pour des réalisations au niveau industriel. Cette maturité et se développement ont donc permis d'aboutir à des coûts de production abordables, qui restent cependant largement supérieurs à ceux de la filière silicium [8].

Les composés III-V sont donc parfaitement appropriés à la réalisation de circuits hyperfréquences. On peut classer ces circuits par type :

- Les circuits bas niveau :
  - Amplification faible bruit,
  - Fonction de contrôle,

- commutation, etc.
- Les circuits de puissance : Parmi les applications évoquée par la nouvelle technologie, le domaine des télécommunications pour les composants discrets et le balayage électronique radar pour les circuits intégrés micro-ondes.
- Les circuits numériques : Pour toutes les applications qui étaient couvertes jusqu'à présent par des circuits intégrés bipolaires au silicium [9].

## **8. CONCLUSION**

Dans ce chapitre, nous avons regroupé quelques définitions et propriétés générales des matériaux semi-conducteurs III-V et le nitrure de gallium avec leurs alliages, les effets de la température et de la pression sur les alliages. La connaissance des propriétés de ces matériaux est importante pour l'évaluation de leur domaine d'application.

## **9. Bibliographie**

- [1][http://di.univ-blida.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/2305/1/PFE\\_ZERG\\_L\\_AIN\\_BADANI\\_2017-2018.pdf](http://di.univ-blida.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/2305/1/PFE_ZERG_L_AIN_BADANI_2017-2018.pdf)
- [2].[http://www.physique-et-matiere.com/semi-conducteur\\_iii-v.php](http://www.physique-et-matiere.com/semi-conducteur_iii-v.php)
- [3].<https://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/chimie-alliage-16640/>
- [4]<https://electrosttissemsilt.files.wordpress.com/2018/01/chapitre-iii.pdf>
- [5].[http://rdoc.univ-sba.dz/bitstream/123456789/1591/3/DS\\_ELN\\_DJOUDI\\_Lakhdar.pdf](http://rdoc.univ-sba.dz/bitstream/123456789/1591/3/DS_ELN_DJOUDI_Lakhdar.pdf)
- [6].<http://www.physique-et-matiere.com/semi-conducteur.php>
- [7].<https://electrosttissemsilt.files.wordpress.com/2018/01/chapitre-iii.pdf>
- [8].<http://e-biblio.univ-mosta.dz/bitstream/handle/123456789/972/CD11.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [9].<https://www.pdfdrive.com/les-avantages-des-semi-conducteurs-iii-v-d116984099.html>

*CHAPITRE II*  
*ÉTUDE de CONTACT ENTRE DEUX*  
*MATERIAUX DIFFERENTS*  
*HETEROSTRUCTURES*



## 1. INTRODUCTION

Le contact métal- semi-conducteur fut l'un des tous premiers composants électroniques utilisé dès 1904. Cependant ce n'est qu'en 1938 que Schottky donna une interprétation des effets de redressement d'un tel contact.

Le contact métal semi-conducteur constitue encore l'un des dispositifs de base de l'électronique moderne. On l'emploie aussi bien pour ses propriétés de redressement (diodes laser Schottky) que pour réaliser des contacts ohmiques de bonne qualité.

Pour comprendre le fonctionnement d'une telle jonction il nous faut définir la notion de travail de sortie d'un métal et la notion d'affinité électronique d'un Semi-conducteurs.

Le développement des hétérostructures de matériaux semi-conducteurs a donné des illustrations scalaires de certains concepts de la mécanique quantique comme le confinement ou la quantification des niveaux d'énergie.

Dans ce chapitre nous allons traiter essentiellement des techniques sur les semi-conducteurs comme la suite.

## 2. Le Contact Métal Semi-Conducteur

### 2.1. Travail De Sortie

Dans l'étude des structures Métal / Semi-conducteur est la détermination de la barrière de potentiel qui existe à différentes interfaces Métal / Semi-conducteur.

L'énergie minimum qu'il faut fournir pour extraire un électron du métal au niveau du vide. Cette dernière appelée travail de sortie du métal (Le travail de sortie des métaux peut varier de 2 eV à 6 eV) la fonction du travail du semi-conducteur est définie comme étant l'énergie qu'il faut fournir pour extraire un électron depuis le niveau de Fermi  $E_{fsc}$  au niveau du vide  $N_v$ , cette dernière est donnée par la relation :

$$q\phi_m = N_v - E_{fm} \quad (2. 1)$$

$$\phi_{sc} = q(\chi - \phi_n) \quad (2. 2)$$

$$\phi_n = E_{Csc} - E_{fsc} \quad (2. 3)$$

$\phi_n$  Et  $\chi$  la barrière de potentiel dans le semi-conducteur et l'affinité Electronique.

Le tableau ci-dessous donne les travaux de sortie de quelques métaux

Tableau 2. 1.donne les travaux de sortie de quelques métaux

Métal	$q\phi_m$	Métal	$q\phi_m$	Métal	$q\phi_m$
Ag	4.63	Ga	4.32	Pd	5.41
Al	4.17	Hf	3.9	Pt	5.55
Au	5.38	Hg	4.47	Re	4.72
Ba	2.52	In	4.09	Rh	4.98
Be	4.98	Ir	5.46	Ru	4.71
Bi	4.34	K	2.29	Sb	4.63
Ca	2.87	Mg	3.66	Sm	2.7
Cd	4.08	Mn	4.1	Sn	4.42
Co	5.0	Mo	4.57	Ta	4.30
Cr	4.5	Nb	4.33	Tb	3.0
Cs	1.95	Ni	5.20	Ti	4.33
Cu	4.76	Os	5.93	W	4.61
Fe	4.74	Pb	4.25	Zn	3.63
Fr	4.6	Na	2.3	Rb	1.8
Li	2.3				

### 2.2. Affinité Electronique

Définie par la différence énergétique entre le bas de la bande de conduction EC du semi-conducteur et le niveau du vide. Cette énergie est celle qu'il faut fournir à un électron situé au bas de la bande de conduction, pour l'extraire du semi-conducteur et l'amener dans le vide sans

vitesse initiale. Cette grandeur physique est une constante du semi-conducteur. La différence entre les deux fonctions de travail  $\phi_m - (\chi - \phi_n)$  s'appelle le potentiel contact[2]

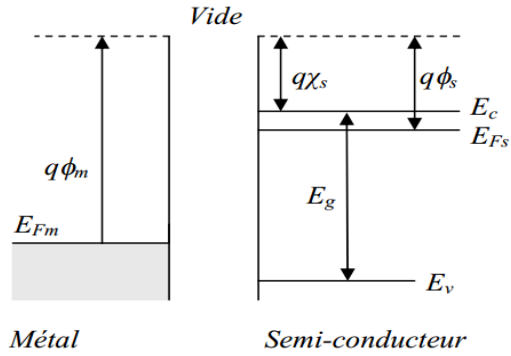


Figure 2. 1. Structure de bande métal-semi-conducteur de type n

Tableau 2. 2. Les travaux de sortie et les affinités de semi-conducteur

semi-conducteur	$q\chi$	$q\phi_{sc}$	
Si	4.01	5.13	Simple IV
Ge	4.13	4.79	
AlP	3.44	5.89	Composés III-VI
AlAs	3.5	5.66	
AlSb	3.6	5.2	
GaP	4.3	6.55	
GaSb	4.06	4.74	
GaN	4.1		
GaAs	4.07	5.5	
InP	4.38	5.65	
InAs	4.9	5.26	
InSb	4.59	4.66	
ZnS	3.9	7.84	
ZnSe	4.09	6.76	
ZnTe	3.5	5.76	

CdS	4.5	6.92	
CdSe	4.95	6.65	
CdTe	4.28	5.73	

### 3. Hétérojonction

Une hétérojonction est obtenue lorsque deux matériaux semi-conducteurs différents sont associés. Sa réalisation s'effectue par croissance cristalline d'un matériau sur l'autre et nécessite l'utilisation de semi-conducteurs ayant des propriétés cristallines voisines (la taille des atomes doit notamment être assez proche). Selon le type de dopage utilisé pour les semi-conducteurs, deux hétérojonctions se distinguent :

- a) Les premières sont les hétérojonctions isotypes, pour lesquelles les deux semi-conducteurs sont de même type de dopage (figure 2.2.a).
- b) Les secondes sont les hétérojonctions anisotypes, pour lesquelles les deux semi-conducteurs sont dopés différemment (figure 2.2.b).

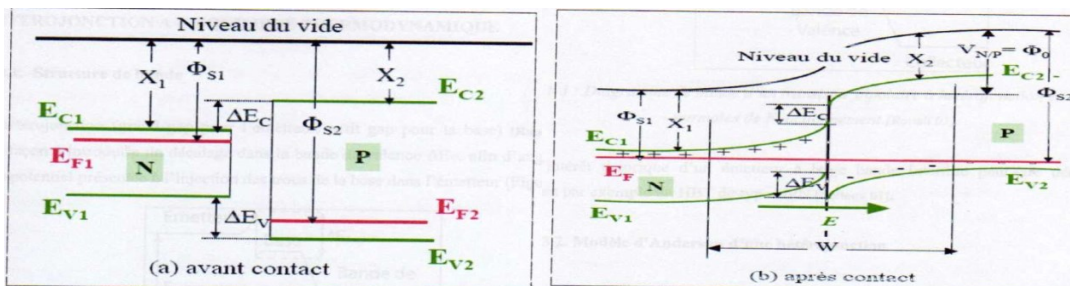


Figure 2. 2. Diagramme de bande d'une hétérojonction anisotype, (a) avant contact, (b) après contact

#### 3.1. Hétérojonction à l'équilibre thermique

##### ➤ Schéma de bandes

Le schéma de bandes à l'équilibre thermique de l'hétérojonction du type anisotype retenu est présenté à la figure II.3 comme on considère implicitement que celle-ci est non graduée, c'est-à-dire qu'il y a passage abrupte du matériau (1) au matériau (2).

Ce schéma se distingue de celui de la figure II.6 par la présence de discontinuités qui affectent les bords  $E_c$  et  $E_v$  de la bande de conduction et de la bande valence à l'abscisse de la jonction métallurgique.

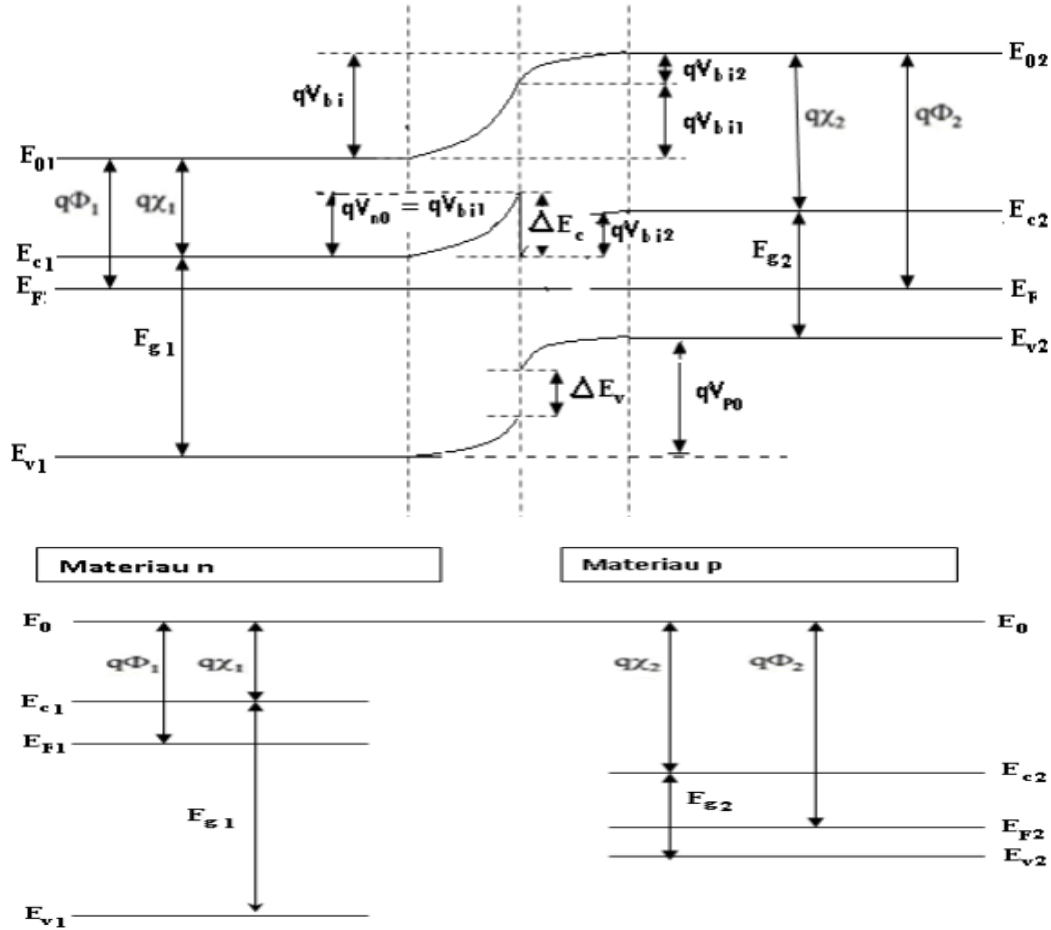


Figure 2. 3. Schéma de bandes à l'équilibre thermique d'une hétérojonction abrupte du type « matériau de grand gap dopé n / matériau de gap réduit dopé p »

Le sens des inégalités entre le gap et entre affinités électroniques des deux matériaux, associée à la discontinuité du niveau  $E_c$  un maximum aigu appelé « Spike » et une dépression appelée « Notch ». On la qualifie de discontinuité forte car elle influence sous polarisation, la nature des mécanismes de déplacement des électrons dans la bande de conduction.

Au contraire, la discontinuité du niveau  $E_v$  n'introduit pas de rupture de monotonie et n'est donc pas de nature à modifier les mécanismes de déplacement des trous dans la bande de valence. On la qualifie pour cela de quasi-continuité [03].

Les diagrammes énergétiques dans chacun des semi-conducteurs, sont représentés sur la figure (II.4). Les deux semi-conducteurs étant indépendants, la distribution des électrons dans

chacun d'eux est indépendante de l'autre, de sorte que les distributions sont caractérisées par deux niveaux de Fermi différents  $E_{FP}$  et  $E_{FN}$

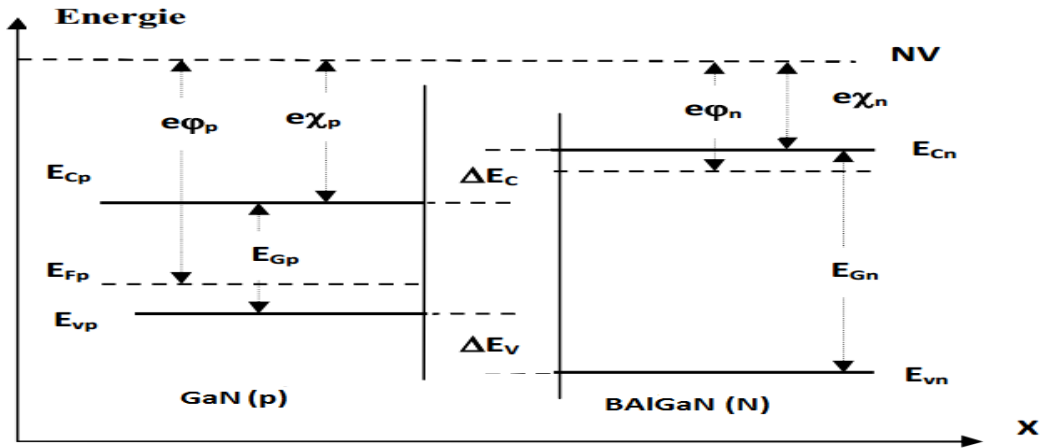


Figure 2. 4. Diagramme d'énergie d'une hétérojonction anisotype BAlGaN/GaN avant contact

Lorsque les deux semi-conducteurs, sont mis en contact, il y a transfert des électrons du semi-conducteur à plus fort niveau de Fermi, vers le semi-conducteur à plus faible niveau de fermi.

De manière à réaliser l'alignement des niveaux de Fermi, cet échange se fait au voisinage de la jonction et fait apparaître une charge d'espace à laquelle est associée une barrière de potentiel (la tension de diffusion) qui arrête la diffusion des porteurs et des charges qui définit l'état d'équilibre [4], la figure II.4 est donnée :

$$V_d = \varphi_1 - \varphi_2 \quad (2.4)$$

La différence d'énergie de bande de conduction  $\Delta E_c$  et bande de valence  $\Delta E_v$  est donner par :

$$\Delta E_c = \Delta \chi \quad \text{et} \quad \Delta E_v = \Delta E_g - \Delta \chi \quad (2.5)$$

$\Delta \chi$  et  $\Delta E_g$  représentent respectivement les différences d'affinité électronique, et de bande interdite entre les deux semi-conducteurs [5]

#### 4. Puits quantiques

Un puits quantique (PQ) est obtenu en faisant croître une couche d'un matériau semi-conducteur A entre deux couches d'un autre matériau semi-conducteur B. Ce dernier a un gap d'énergie supérieur à celui du matériau A (figure 2.5). La discontinuité entre les bandes

d'énergie dans les deux matériaux crée une barrière de potentiel qui confine les porteurs (électron et trou) dans le puits quantique.

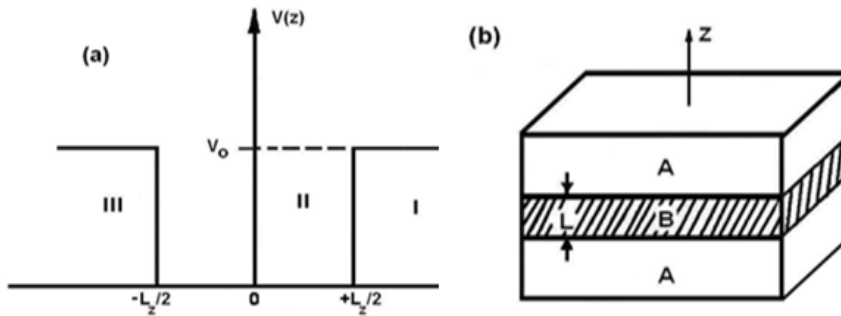


Figure 2. 5. PQ carré de largeur  $Lz$  et de hauteur  $V_0$  ; (b) : Couche d'un matériau semi-conducteur A possédant un gap inférieur à celui du matériau semi-conducteur B.

#### 4.1. Types de puits quantiques

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

##### a) puits quantique de type-I

Où électrons et trous sont confinés dans le même matériau constituant le puits. L'énergie du photon émis dépend des énergies de confinement des porteurs et du gap du matériau puits.

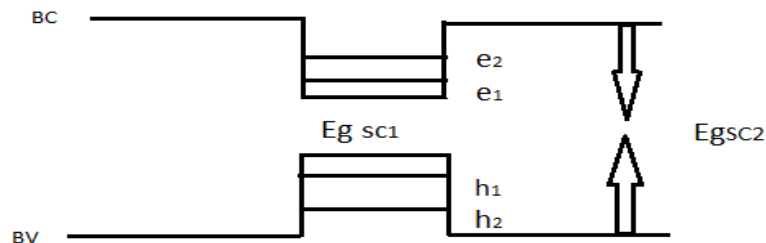


Figure 2. 6. Profil de puits quantique de type I

##### b) puits quantiques de type-II

Où les électrons et les trous sont confiés séparément dans les deux matériaux puits et barrière respectivement. Dans ce cas, l'énergie du photon dépend des énergies de confinement des porteurs mais aussi des gaps des deux matériaux formant l'hétérostructures.

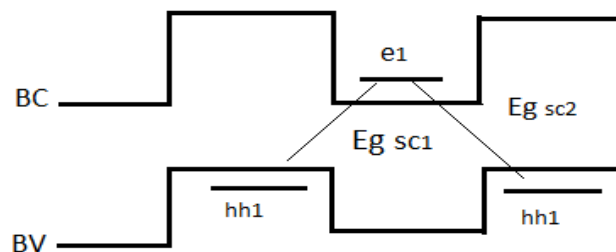


Figure 2. 7.Profil de puits quantique de type II

### c) les puits quantiques dit de type-III

Qui est un cas particulier du type-II, le bas de la bande de conduction est situé en dessous du haut de la bande de valence (ex : système GaSb/InAs).

Dans cette configuration, dite aussi semi-métallique, l'énergie du photon émis n'est fonction que des énergies de confinement des électrons et des trous, c'est-à-dire, de l'épaisseur des couches puits et barrière [6].

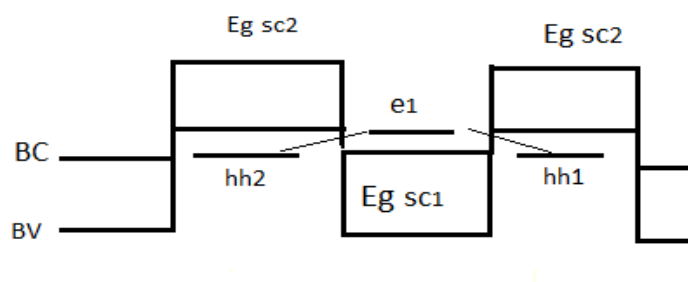


Figure 2. 8.Profil de puits quantique de type III

## 5. Épitaxie

L'épitaxie est une technique de croissance orientée, l'un par rapport à l'autre, de deux cristaux possédant un certain nombre d'éléments de symétrie communs dans leurs cristallins. Etymologiquement, « épi » en grec signifie « sur » et « taxis », « arrangement ». Cette technique consiste à utiliser le substrat comme le neutre de germe de croissance et à faire croître la couche par apport d'éléments constituant la nouvelle couche.

### 5.1. Epitaxie des matériaux nitrures

Les nitrures d'éléments III sont des matériaux durs, très stables, quasiment inertes chimiquement [8]. Leur problématique de croissance réside en grande partie dans la stabilité très élevée de la liaison III-N à l'origine de la faible mobilité des atomes lors de leur croissance.

L'autre problème est lié à la production de radicaux libres d'azotes. Si l'on utilise le gaz N<sub>2</sub> par exemple comme source d'azote, la température du substrat de croissance (500- 1500°C) est trop faible pour la dissocier efficacement (énergie de liaison d'environ 5 eV par molécule).

Pour remettre une réaction avec un métal de la colonne III du tableau périodique, il s'agit donc de fournir des radicaux libres en quantité suffisante. Les molécules source doivent donc être dissociées par un procédé particulier, tel que les plasmas radiofréquence (RF) en MBE par. Une autre possibilité consiste à utiliser de l'ammoniac comme source d'azote puisqu'il s'associe à des températures plus faibles.

### 5.2. Epitaxie par jet moléculaires

Les matériaux semi-conducteurs requièrent une grande qualité cristalline, c'est-à-dire qu'il faut le moins d'impuretés possible. Pour obtenir cette grande qualité, une méthode utilisée est de réaliser des couches de matériaux semi-conducteurs sous ultravide ( $1 \times 10^{-10}$  Torr).

Ce genre de vide est obtenu dans un bâti d'épitaxie par jets moléculaires. Ce bâti est en général constitué de 3 chambres dans lequel le vide est amélioré d'une chambre à l'autre grâce à des pompes de plus en plus élaborées (pompe à membrane, pompe turbo-moléculaire, pompe ionique, filament de titane).

C'est donc la dernière chambre, qui est la chambre de croissance qui possède le meilleur vide. Dans cette chambre, le support qui va servir à réaliser le composant (dans le cas d'une diode laser, ce peut être un support de GaSb), fait face à diverses cellules remplies d'éléments servant à réaliser des semi-conducteurs (éléments III ou V du tableau de Mendeleïev, par exemple).

Ces cellules sont fortement chauffées pour que le matériau puisse être envoyé sur le support sous forme gazeuse. C'est donc pour cela que l'ultravide est nécessaire, la particule envoyée sur le support n'interagira pas avec une autre molécule parasite [9].

### **5.3. Avantages de l'utilisation l'épitaxie par jets moléculaires (EJM)**

La technique MBE présente des avantages qui la font extrêmement intéressante pour couvrir certaines niches technologiques. Par exemple, elle assure un meilleur contrôle de la synthèse de nanostructures, puits quantiques ou boîtes quantiques, et permet la réduction au minimum de leurs dimensions.

D'autre part, c'est une technique plus éloignée de l'équilibre thermodynamique que la MOVPE, ce qui rend possible l'élaboration d'une gamme plus étendue d'alliages ternaires et quaternaires, alliages qui présentent des problèmes de miscibilité mais qui peuvent être stabilisés dynamiquement pendant la croissance MBE.

D'ailleurs, la technique MBE permet de choisir la polarité du matériau en fonction du substrat ou/et de la couche buffer utilisée. Ce choix, qui est déjà intéressant du point de vue académique, permet d'envisager par exemple la réalisation de structures GaN à polarité périodique pour la génération de seconde harmonique grâce à la technique du quasi-accord de phase.

De plus, le GaN polarité Ga est chimiquement inerte, tandis que le GaN polarité azote est très sensible à certains produits chimiques, ce qui le rend intéressant pour des applications dans le domaine des capteurs. D'autre part, la technique MBE facilite le dopage de type p, toujours problématique dans les matériaux nitrures.

Dans les couches synthétisées par MOVPE, les accepteurs sont rendus passifs par l'hydrogène pendant le dépôt, ce qui nécessite un traitement après la croissance pour relâcher l'hydrogène afin d'obtenir une conductivité de type p.

Par contre, l'activation post-croissance n'est pas utile pour les couches déposées par MBE assistée par plasma (plasma-assisted-molecular-beam epitaxy, PAMBE), puisque la synthèse a lieu dans un environnement privé d'hydrogène.

De surcroît, la formation de complexe auto compensatrice et de domaines d'inversion est systématiquement réduite dans le matériau PAMBE, ce qui facilite l'obtention des niveaux de dopage p plus élevés.

Finalement, l'utilisation de la diffraction des électrons de haute énergie en incidence rasante (Reflection High Energy Electron Diffraction, RHEED) ouvre la possibilité du suivi in situ et en temps réel de la surface du matériau.

Cette technique n'a pas de contrepartie dans le cas de la MOVPE, où le suivi in situ est réalisé par des techniques de réflectivité, avec une résolution spatiale et temporelle très limitée [9].

#### 5.4. Épitaxie par jets moléculaires assistée par plasma

C'est une cellule à plasma radiofréquence (RF) qui a permis de dissocier la molécule d'azote avant son arrivée sur le substrat placé au cœur d'une chambre d'épitaxie par jets moléculaires (MBE), schématisée en Figure II.9 Elle permet la croissance des nitrures à des températures de l'ordre de 700°C. La MBE offre un contrôle complet des paramètres de croissance et elle permet le suivi en temps réel de l'évolution du front de croissance par diffraction des électrons de haute énergie en incidence rasante RHEED.

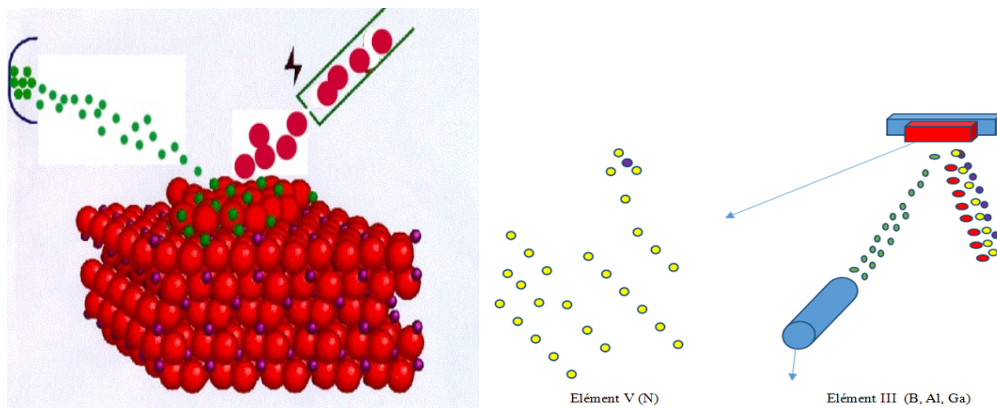


Figure 2. 9.Épitaxie par jets moléculaires de structure BAlGaN/GaN

De façon générale, la source plasma RF utilisée dans cette méthode de croissance pose le problème de la faible mobilité des espèces chimiques en surface aux températures de croissance de 700°C typiques pour GaN. Pour la croissance d'AlN, la température idéale se situerait aux alentours de 1000°C, ce qui pose le problème du collage du substrat sur son support réalisé usuellement à l'indium, celui-ci s'évapore au-delà de 700°C. [6] Cette méthode reste toutefois particulièrement adaptée à la croissance des nanostructures fines en séquences compliquées grâce à son très bon contrôle des conditions de croissance.

## **6. CONCLUSION**

Dans ce chapitre nous avons étudié les structures Homo-jonction, Jonction Métal - semi-conducteur ainsi la Structure MOS et les Hétérojonctions on citant les différents types des puits quantiques et on terminant par des méthodes de croissance de ces derniers.

## **7. Bibliographie**

[1] livre de physique des semi-conducteurs : fondamentaux copyright (c) 2007 - Auteur(s) : Noël SERVAGENT - Conception & production : SCIRN-PRN - Université du Maine

[02]<http://dspace.univ-msila.dz:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/6671/653.pdf>

[03]<http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/288/2/CHAPITRE2-HAMROUN-Amine.pdf>

[4] mémoire de magister représentée par Khelifi Samira, « Modélisation d'une cellule solaire Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>As(n)-GaAs(i)-GaAs(p) », université Béchar année 2011

[5] thèse de doctorat représentée par Rachid Khalil, «Étude d'un gaz bidimensionnel d'électrons dans des hétérostructures AlGaAs/GaAs par des mesures courant-tension et bruit basses fréquences en température», université Reims Champagne-Ardenne. Année 2005.

[6] [http://mapageweb.umontreal.ca/leonelli/th%C3%A8ses/Ali\\_Lanacer\\_2006.pdf](http://mapageweb.umontreal.ca/leonelli/th%C3%A8ses/Ali_Lanacer_2006.pdf)

[7] Mémoire de Magister Intitulé «Modélisation et optimisation des lasers à puits quantiques à base de nitrures et de matériaux II- VI utilisant des hétérostructures de l'ordre de l'Angstrom "Présenté par : SELMANE Djamel Université Hassiba Ben Bouali Chlef Le : 26/04/2009.

[8] thèse pour obtenir le grade de docteur présentée par STEPHANE Fanget matériaux et hétérostructures à base de nitrures d'éléments III en phase cubique et hexagonale pour l'optoélectronique a le 19 décembre 2002.

[9] [https://www.pheliqs.fr/Documents/HdR\\_Eva.pdf](https://www.pheliqs.fr/Documents/HdR_Eva.pdf).

*CHAPITRE III*  
*MODELISATION DE LA*  
*CONNAISSANCE*  
*TCAD*



## 1. INTRODUCTION

Dans ce chapitre, le TCAD (Technology Computer-Aided Design) a été utilisé comme un simulateur pour simuler les caractéristiques électriques des diodes laser, Le rôle de la simulation fournit un lien entre le monde expérimental et le monde théorique comme le montre la figure 3.1 pour le but d'économiser le temps et le coût de développement, Cet outil permet donc l'optimisation pour la calibration des simulateurs de procès et de dispositifs. Il permet donc d'ajuster automatiquement les paramètres électriques ou les paramètres du procès en jouant sur un ou plusieurs paramètres d'entrée, pour améliorer les performances des dispositifs.

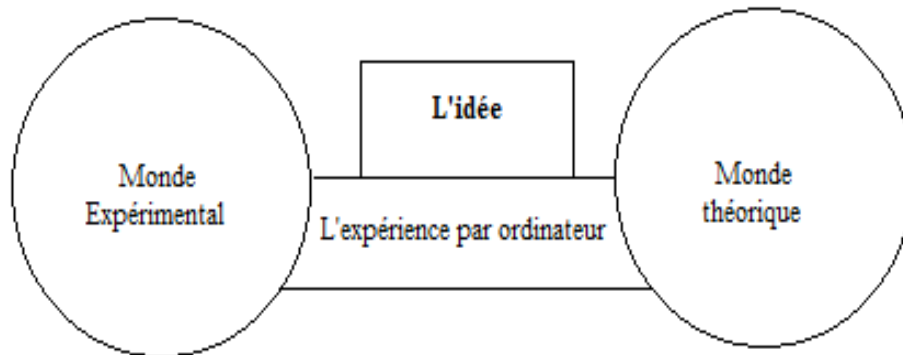


Figure 3. 1. Le rôle de simulation

## 2. Étude modèles physiques et logiciels de simulation

Les commandes Atlas consistent en une séquence d'instructions. Chaque instruction consiste en un mot-clé qui identifie l'instruction et un ensemble de paramètres. Le format général est :

*dèclarations* ▷ *paramètre* ▷▷ *valeur*

Pour toutes déclarations, Atlas peut avoir quatre différents types de valeur :

Réel, entier, caractère et logique.

Atlas peut lire jusqu'à 256 caractères sur une ligne. Toutefois, il est préférable d'étaler de longues instructions d'entrée sur plusieurs lignes pour rendre le fichier d'entrée plus lisible. Le caractère \ en fin de ligne indique la suite.

### 2.1. L'environnement ATLAS

L'environnement de l'ATLAS a été conçu de façon à pouvoir l'utiliser avec d'autres outils qui facilitent ou complètent son utilisation (Figure 3.2) [1].

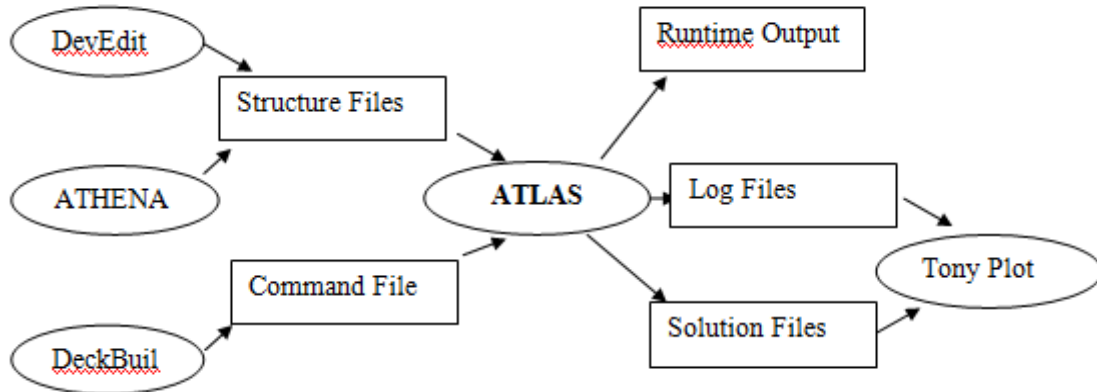
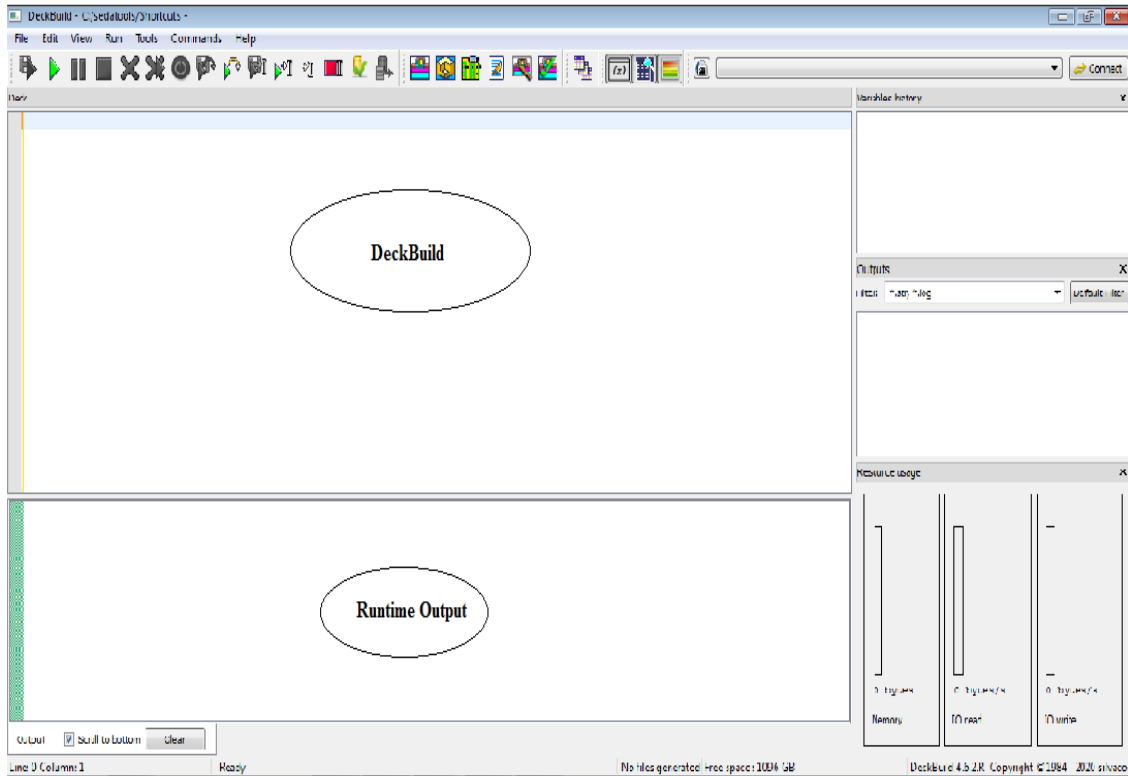


Figure 3. 2.L'environnement ATLAS

Spécification de la structure

- **DEVEDIT** est un environnement où sont dessinés la structure (dimension, dopage, ..) et son maillage.
- **DECKBUILD** est un environnement où est défini le programme de simulation comme le montre la figure 3.3.
- **TONYPLOT** est un environnement où sont visualisés les résultats des simulations  
La figure 3.3 représente l'outil DeckBuild



*Figure 3. 3.L'outil Deck Build*

## 2.2. ATHENA

Est un simulateur désigné pour la création des structures avec une bonne résolution des mailles, fait aussi l'implantation ionique et la diffusion des impuretés et l'oxydation, les épaisseurs des couches, dopage ainsi que certains paramètres électriques, la Figure 3.4 représente la structure de la diode simulée ,nous sommes basés sur des valeurs trouvées dans la littérature, concernant l'étude de différentes structures des diodes laser



*Figure 3. 4.Structure de la diode simulée*

## 2.3. Spécifier le maillage initial

Le maillage est une série de lignes horizontales et verticales, généralement l'instruction mesh sert pour spécifier le maillage. Dans notre étude, le maillage utilisé est à 2D, donc seuls les paramètres x et y sont définis.

Le type peut être défini en 2 ou 3 dimensions. Ici, nous verrons comment définir une structure cylindrique 2D.

La première déclaration doit être :

<MAILLE CYLINDRIQUE>

Ceci est suivi d'une série d'énoncés X.MESH et Y.MESH.

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

Y.MESH LOCATION = <VALEUR> SPACING = <VALEUR>

### Exemple :

X.mesh Loc=0.0 Spac=20

Y.mesh Loc=300.0 Spac=10

Loc : définit l'intervalle de maillage

Spac : définit la résolution du maillage

Les instructions X.MESH et Y.MESH sont utilisées pour spécifier les emplacements en microns de lignes verticales et horizontales, ainsi que l'espacement vertical ou horizontal associé avec cette ligne. Les instructions X.MESH et Y.MESH doivent être répertoriées dans l'ordre croissant x et y. Les valeurs négatives et positives de x et y sont autorisées. Atlas définit certaines limites quant au nombre maximal de nœuds de grille pouvant être utilisés.

Dans la version par défaut, les simulations Atlas en 2D ont une limite maximale de 100 000 nœuds. La figure 3.5 montre le maillage de structure BAIGaN /GaN.

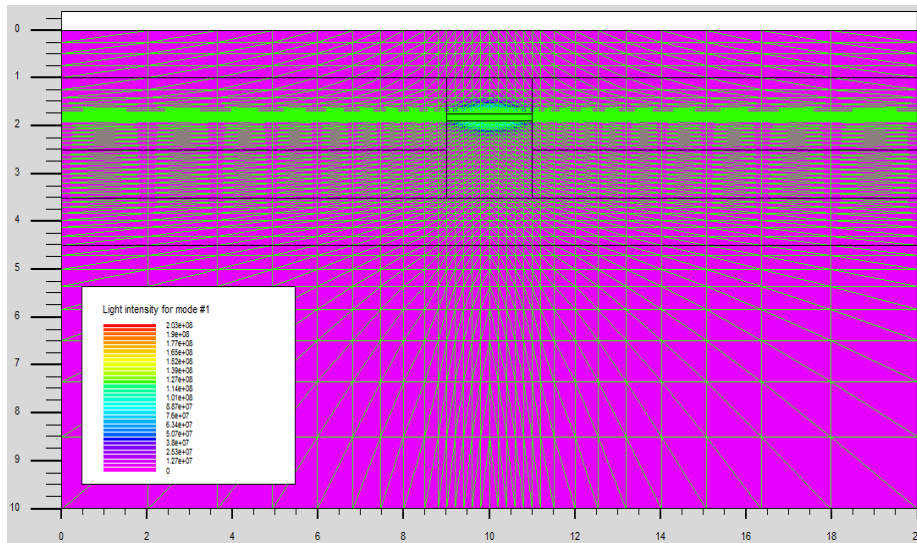


Figure 3. 5.Maillage à deux dimensions (x,y)

## 2.4. Région

Les instructions de région spécifient l'emplacement des matériaux dans un maillage défini précédemment. Les numéros de région doivent commencer à 1 et sont augmentés pour chaque déclaration de région suivante. Dans Atlas, le nombre maximum de régions pouvant être définies est 15 000. L'instruction de région est donnée sous forme de flux.

NUMÉRO DE RÉGION = MATERIEL INTEGRE= POSITION =PARAMÈTRES

Les paramètres de position sont spécifiés en microns à l'aide des paramètres X.MIN, X.MAX, Y.MIN et Y.MAX.

La figure 3.6 montre les régions de notre structure. Il y'a nombreuses régions, dans toute les structures, les limites de chaque région sont explicitement identifiés dans les axes x et y

### Exemple:

```
Region num=1 material=Au      y.max=0.0
Region num=2 material= GaN    y.min=2  y.max=10
Region num=3 material=BAIGaN  y.min=2
```

## 2.5. Électrode

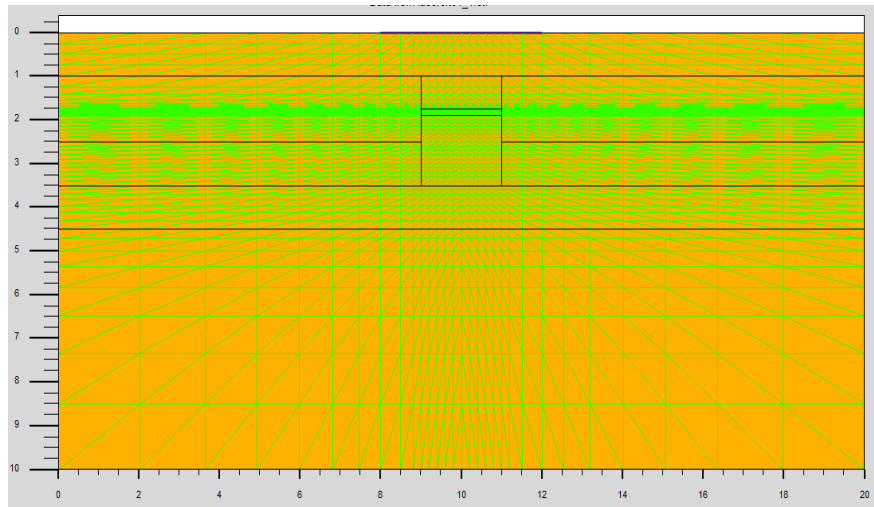
Une fois les régions et les matériaux spécifiés, au moins une électrode en contact avec un matériau semi-conducteur doit être définie. Ceci est fait avec l'instruction ELECTRODE.

```
ELECTRODE NAME = <NOM D'ÉLECTRODE> <POSITION_PARAMETERS>
```

Vous pouvez spécifier jusqu'à 50 électrodes. Les paramètres de position sont spécifiés en microns à l'aide des paramètres X.MIN, X.MAX, Y.MIN et Y.MAX.

### Exemple :

```
Electr name=anode num=1 top x.min=0.0 x.max=2.0 y.min=-0.1 y.max=0.0
Electr name=cathode num=2 top x.min=3.0 x.max=5.0 y.min=-0.1 y.max=0.0
```



*Figure 3. 6. Structure proposé (BAIGaN / GaN) (régions, Électrode et matériaux)*

## 2.6. Dopage

Les profils de dopage peuvent être spécifiés soit analytiquement, soit à partir d'un fichier d'entrée. La déclaration de dopage doit contenir le type de distribution du dopage, la concentration de dopage, le type de dopant et les paramètres de position.

Les paramètres de position peuvent être définis par X.MIN, X.MAX, Y.MINET Y.MAX ou par type de matériau ou par numéro de région. Par exemple, vous pouvez spécifier comme flux.

```
DOPING N.TYPE CONC = 1.2E17 MATERIAU UNIFORME = BAIGaN
```

Dans la figure 3.7, les types de dopage et les niveaux de dopage sont définis de dès notre structure BAIGaN. Le dopage de type N et Le type de distribution peut être uniforme ou gaussienne.

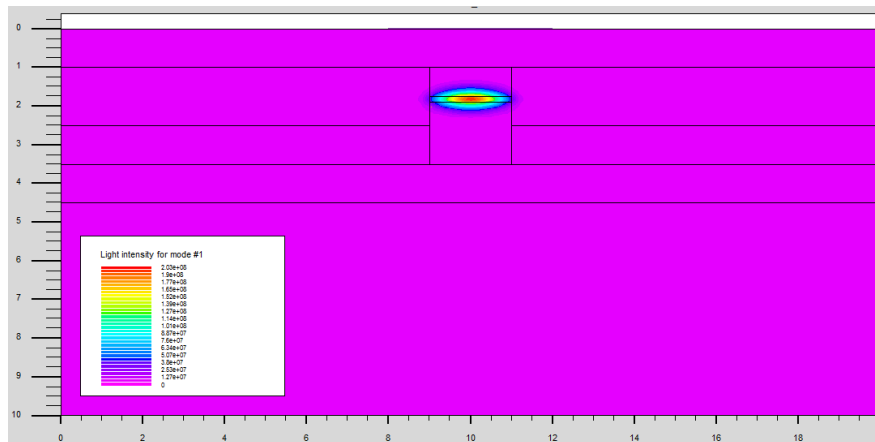


Figure 3. 7.Types de dopage

### 3. Matériel et spécification du modèle

Après la définition de la structure, les paramètres de matériau, le modèle physique, la spécification du contact et de l'interface doivent être indiquée dans cette séquence à Atlas utilisé lors de la simulation du dispositif. La plupart des modèles physiques sont définis dans l'énoncé du modèle, à l'exception de certains modèles physiques tels que l'ionisation par impact qui est activée dans l'énoncé d'impact.

#### 3.1. Spécification de modèles physiques

Les modèles et les paramètres de matériau sont choisis en 3D en commun avec d'autres modules 2D à l'aide des instructions MODELS, IMPACT, MATERIAL, MOBILITY, INTERFACE et CONTACT. Les modèles physiques peuvent être regroupés en cinq classes : mobilité, recombinaison, statistiques des porteurs, ionisation par impact et effet tunnel. L'instruction MODEL utilisée dans ce travail est donnée comme :

MODEL TEMPERATURE=180 Eg FERMI SRH AUGER INCOMPLETE UST PRINT

- **TEMPERATURE:** définit la température du réseau où les paramètres et les paramètres électriques les caractéristiques seront calculées.
- **Eg :** L'évolution de la température sur le gap d'énergie
- **FERMI:** active les statistiques Fermi-Dirac
- **SRH:** Le facteur de génération recombinaison par.
- **AUGER:** active la recombinaison Auger.

INCOMPLET: active l'ionisation incomplète de l'impureté.

UST: active le modèle de tunneling universel.

IMPRIMER: liste à la sortie du temps d'exécution les modèles et les paramètres, qui seront utilisés lors de la simulation. Cela permet la vérification des modèles et des paramètres de matériau.

### 3.2. Spécification des caractéristiques de contact

Une électrode en contact avec un matériau semi-conducteur est supposée par défaut être ohmique. Si un travail est défini dans l'instruction CONTACT, l'électrode est traitée comme un contact Schottky. Le paramètre NAME est utilisé pour identifier quelle électrode aura ses propriétés modifiées. Le paramètre NUMBER permet de définir le numéro d'électrode dans le cas où plusieurs électrodes ont le même nom.

Ici, vous verrez les paramètres de l'instruction CONTACT utilisés dans ce travail.

```
CONTACT NUMBER=1 NAME=ANODE WORKF=4.8 SURF.REC BARRIER  
ME.TUNNEL=0.077 MH.TUNNEL=0.64 PARABOLIC
```

- **WORKFUNCTION:** utilisé pour définir le travail de sortie des métaux utilisés comme contact Schottky.
- **SURF.REC:** recombinaison de surfaces finies activant le modèle d'émission thermoionique.
- **BARRIER:** active la descente de la barrière pour le contact Schottky.
- **ME.TUNNEL:** Spécifie la masse effective relative à utiliser en mode tunnel d'électrons
- **MH.TUNNEL:** Spécifie la masse effective relative à utiliser en mode trous tunnel

### 3.3. Spécification des propriétés de l'interface

L'instruction INTERFACE est utilisée pour définir la densité de charge d'interface, la vitesse de recombinaison de surface aux interfaces entre semi-conducteurs et isolants.

Le modèle d'interface spécifiée dans cette instruction INTERFACE doit inclure des interfaces semi-conducteur-isolant). Le deuxième paramètre définit le nom du matériau constituant l'interface, par exemple

```
INTMATERIAL= MATERIAL1/MATERIAL2.
```

### 3.4. Sélection de la méthode numérique

Atlas devra résoudre jusqu'à six équations différentes pour combiner différents modèles. Pour chacun des types de modèle, il existe essentiellement trois types de techniques de solution[2]:

- La méthode GUMMEL.
- La méthode NEWTON.
- Les méthodes BLOCK.

### 3.5. Spécification de la solution

Atlas peut calculer (DC, AC) un signal faible et des solutions transitoires. L'obtention de solutions est similaire à la configuration d'un équipement de test paramétrique pour les tests de périphériques. Lorsqu'une tension est définie sur une électrode dans l'appareil. Atlas calcule ensuite le courant à travers chaque électrode. Atlas calcule également les quantités internes, telles que les concentrations de porteurs et les champs électriques dans l'appareil. Cette information est difficile ou impossible à mesurer.

La solution est obtenue en spécifiant la déclaration SOLVE INIT qui donne une première estimation du potentiel de dopage et des concentrations de porteurs du profil de dopage, ce qui permet d'obtenir la convergence de l'équation utilisée.

Les caractéristiques du terminal calculées par Atlas sont stockées dans le fichier journal avec l'instruction suivante :

```
LOG OUTFILE = NAME.LOG
```

Le balayage de polarisation pour calculer le petit signal continu et alternatif peut être effectué par les instructions suivantes, respectivement.

```
SOLVE VANODE = 0.0 VSTEP = 0.1 VFINAL = 1.2 NOM = ANODE
```

```
SOLVE VANODE=0.0 VSTEP = -0.1 VFINAL=-1.2 NOM = ANODE AC FREQ = 1E6
```

## 4. Analyse des résultats

### ➤ Tony Plot

Tony Plot est un outil de post-traitement graphique à utiliser avec tous les simulateurs Silvaco. Il fait partie intégrante des outils interactifs VWF.

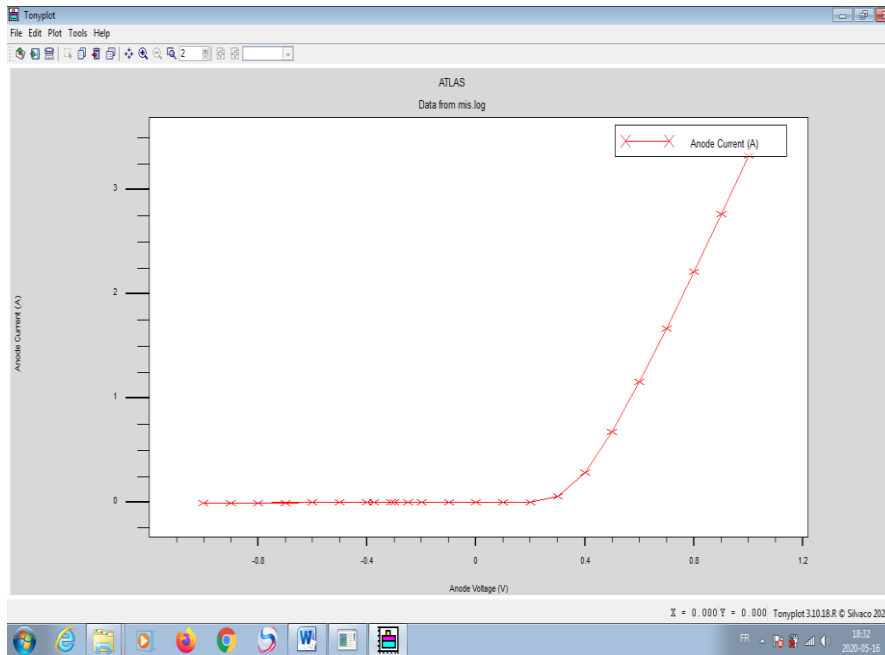
Tony Plot peut fonctionner de manière autonome ou avec d'autres outils interactifs VWF, tels que DECKBUILD, VWF ou SPDB.

Pour tracer un fichier journal ou plusieurs fichiers journal avec TonyPlot l'instruction sont respectivement

```
TONYPLOT file1.LOG
```

```
TONYPLOT - OVERLAY fichier1.LOG fichier2.LOG
```

La figure 3.8 pressante les résultats obtenus par la simulation peuvent être affichés graphiquement avec « TonyPlot »



*Figure 3. 8. Affichage graphique des résultats par « TonyPlot »*

## 5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous étudions l'environnement de l'ATLAS comme spécification de structure, le maillage, Région et spécification de modèles physiques. Cet outil permet donc l'optimisation pour la calibration des simulateurs de procédés et de dispositifs a permis de connaître l'influence de quelques paramètres sur l'évolution de la plupart des composants semi-conducteurs en régime continu, température ou fréquentiel....etc.

## **6. Bibliographie**

- [1] A.U.s.M. SILVACO-TCAD, Silvaco International, California (2004).
- [2] M. MANCER, Simulation numérique des caractéristiques électriques d'une cellule solaire à double jonction en (AlGaAs/GaAs), in: Université Mohamed Khider-Biskra, 2012.

*CHAPITRE IV*

*SIMULATION DE LA STRUCTURE*

*BAIGaN*



## 1. INTRODUCTION

Dans cette partie du chapitre, on étudiera l'optimisation des paramètres physiques d'une structure BAlGaN sur le substrat modèle GaN pour déterminer les valeurs maximales et des paramètres fonctionnels à partir des méthodes graphiques et l'outil de calcul Matlab et silvaco, sans oublier la fixation des paramètres technologiques, que nous avons proposés.

## 2. La relation les compositions x et y

La relation d'ajustement entre les compositions x et y pour le quaternaire  $B_xAl_yGa_{1-x-y}N$  sur le substrat GaN qui illustre dans la figure IV.1

$$x \approx 0.1469(1 - y) \quad \text{avec } 0 \leq y \leq 1 \quad (4.1)$$

La figure 4.1 montre la variation de x en fonction de y de l'alliage  $B_xAl_yGa_{1-x-y}N$  épitaxié sur substrat AlN. On constate que la concentration en bore varie entre 0 % jusqu'à 14 % ce qui est en accord avec les résultats trouvés expérimentalement par Takano et ses collaborateurs[1]

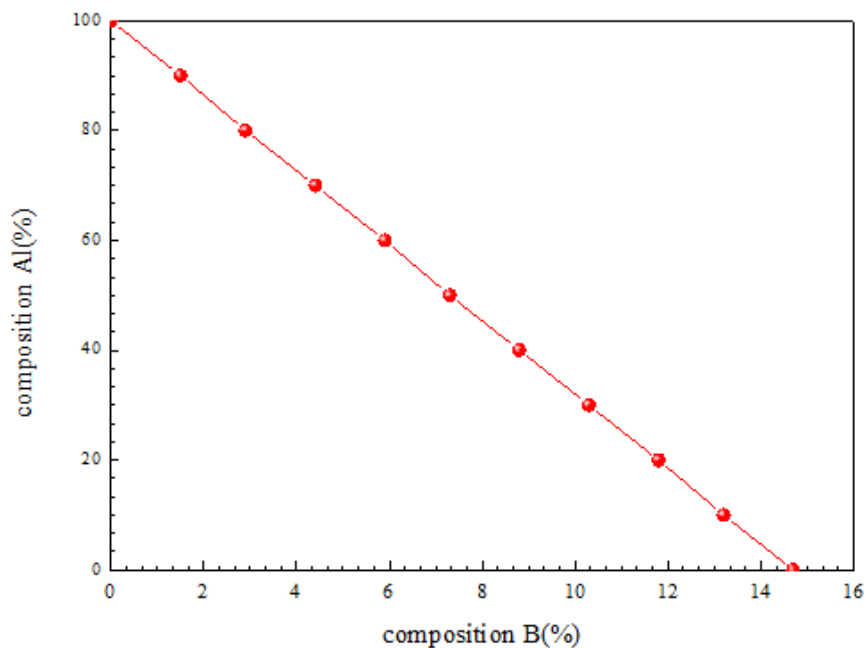


Figure 4. 1.Variation de Y en fonction de X

### 3. Indice de réfraction

#### 3.1. Indice de réfraction d'alliage BxAl<sub>y</sub>Ga<sub>1-x-y</sub>N

La Variation de l'indice de réfraction en fonction de la fraction molaire du bore dans le BxAl<sub>y</sub>Ga<sub>1-x-y</sub>N .peut être exprimé par le modèle de RV VANDAMME suivant :

$$n = \sqrt{1 + \left(\frac{A}{E_g + B}\right)^2} \quad (4.2)$$

Avec :

A= constante égale à 13.6ev.

B= constante égale à 3.4ev.

Noter que dans cette courbe si on augmente la concentration de bore nous remarquons que l'indice de réfraction est diminué. Qui exprimé dans figure 4.1 suivante :

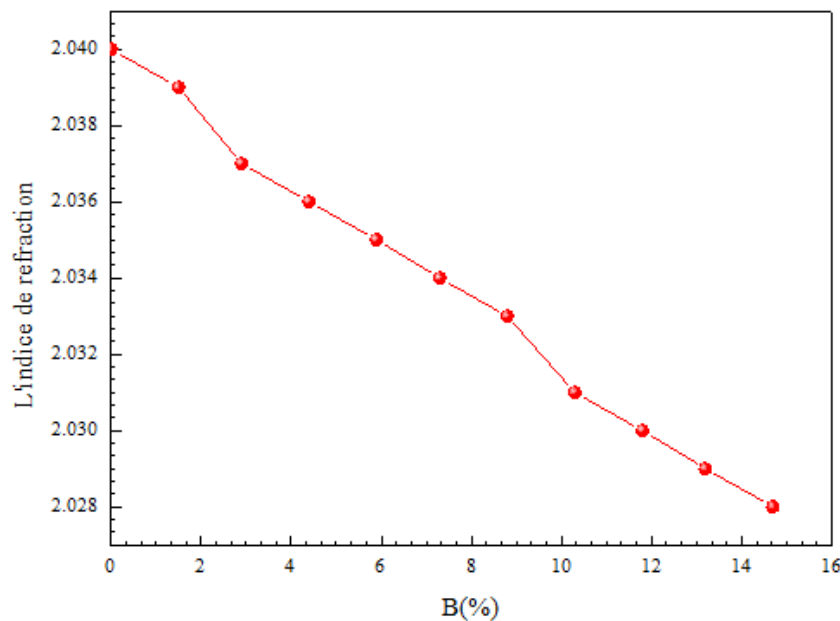


Figure 4. 2.Variation de l'indice de réfraction en fonction de la fraction molaire de bore

### 4. Longueur d'onde d'alliage BxAl<sub>y</sub>Ga<sub>1-x-y</sub>N

#### 4.1. Variation de Longueur d'onde en fonction de la largeur de puits

La variation de longueur d'onde en fonction de la fraction molaire du bore d'alliage BxAl<sub>y</sub>Ga<sub>1-x-y</sub>N

Grâce à cette courbe graphique Nous remarquons que si on augmente la concentration du bore en remarquant que la longueur d'onde augmente aussi.

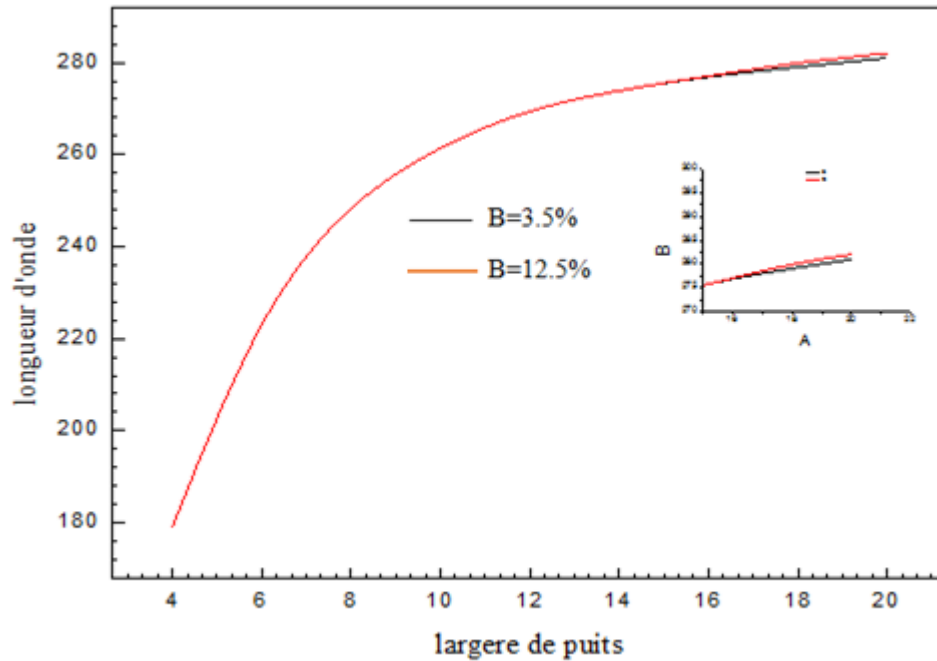


Figure 4. 3. Variation de longueur d'onde en fonction de la largere de puits

La longueur d'onde émise dépend de la largeur de bande interdite du semi-conducteur, dans le cas d'un alliage, celle-ci varie de façon continue en fonction de la composition. Nous pouvons donc choisir la longueur d'onde du laser dans la fabrication.

$$\lambda = \frac{1.24}{\text{Eg(BAlGaN)} + \frac{\hbar^2 \pi^2}{2m_e^* L_z^2} + \frac{\hbar^2 \pi^2}{2m_v^* L_z^2}}$$

Avec :

$m^*e$ ,  $m^*v$  : Respectivement, les masses effectives des électrons et des trous

$$m^*e(\text{BAlGaN}) = (-0.054y + 0.304).m_0$$

$$m^*v(\text{BAlGaN}) = (0.525y + 0.875).m_0$$

$$m_0 = 9.1097 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

### 5. Gain maximal en fonction de la largeur de puits

On calculera cette Variation du gain max en fonction de largeur de puits pour différentes concentrations du bore dans la couche active (BAlGaN) qui présente à la figure 4.4. Grâce à notre étude, nous notons que la longueur d'onde augmente en fonction de largeur de puits dans l'intervalle [0 ; 1] et reste constante.

La largeur de puits est un paramètre très important dans le domaine de fabrication le laser à puits quantique.

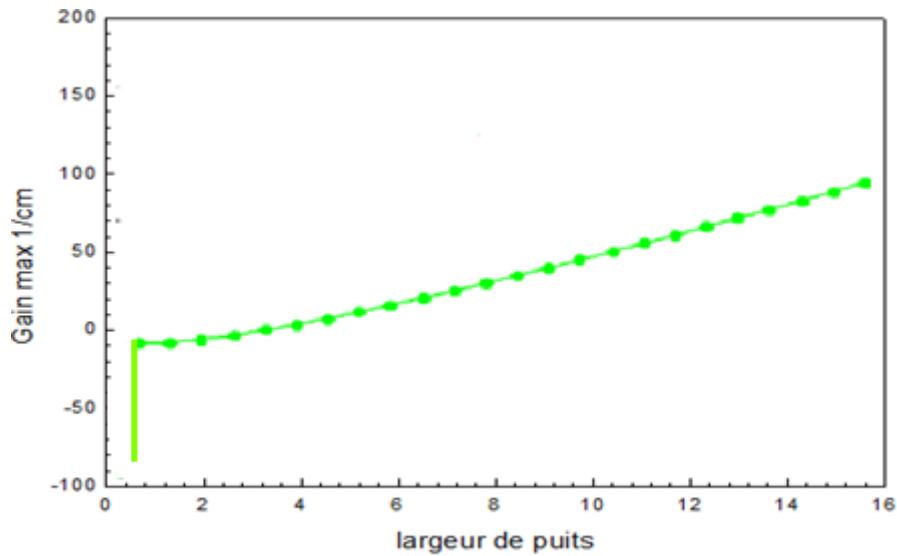


Figure 4. 4. Variation du gain max en fonction de largeur de puits

Dans une structure à puits quantique, la nature bidimensionnelle de la densité d'états modifie la courbe de gain. A trois dimensions, la densité d'états augmente avec l'énergie. Il en résulte que lorsque l'injection augmente, le maximum de la courbe de gain se déplace vers les hautes énergies. Par contre dans un puits quantique, la densité d'états est constante dans chacune des sous-bandes. Ainsi lorsque le pseudo niveau de Fermi s'élève sous l'effet de l'injection, le sommet de la courbe de gain reste fixé à l'énergie du bas de la sous-bande. Le gain de la région active sature lorsque les premières sous-bandes des électrons et de trous sont totalement inversées. Si le gain alors obtenu est insuffisant pour compenser les pertes, le seuil d'oscillation n'est pas atteint et les deuxièmes sous-bandes  $e_2$   $h_2$  doivent être mises à contribution [2]

## 6. Variation du gain maximal en fonction de la température

De la figure 4.5, On remarque quelle que soit la température augmente **le gain maximal a diminue**

La Variation de **gain maximal** en fonction de la température liée la largeur de la bande interdite  $E_g$  varie avec la température.

La variation de l'énergie de bande interdite  $E_g(T)$  en fonction de la température est généralement décrite par la formule empirique de Varshni [5] :

$$E_g(T) = E_g(0) - \frac{\alpha \cdot T^2}{\beta + T}$$

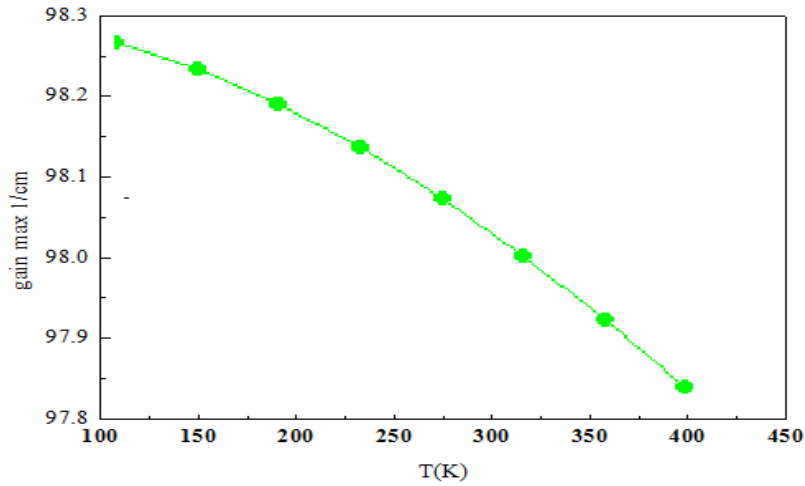


Figure 4. 5. Variation du gain maximal en fonction de la pression

### 7. Variation du gain maximal en fonction de la pression

En analysant cette courbe graphique dans la Figure 4.6 qui observe la variation de la longueur d'onde en fonction de l'augmentation de la pression.

La variation de l'énergie de bande interdite  $E_g(p)$  **en fonction de la pression** est généralement expliquée par la relation de MURNAGAN

De la figure IV.5, On remarque que lorsque la **pression** augmente le **gain maximal** augmente aussi, cette augmentation se forme par approximation d'une fonction linéaire.

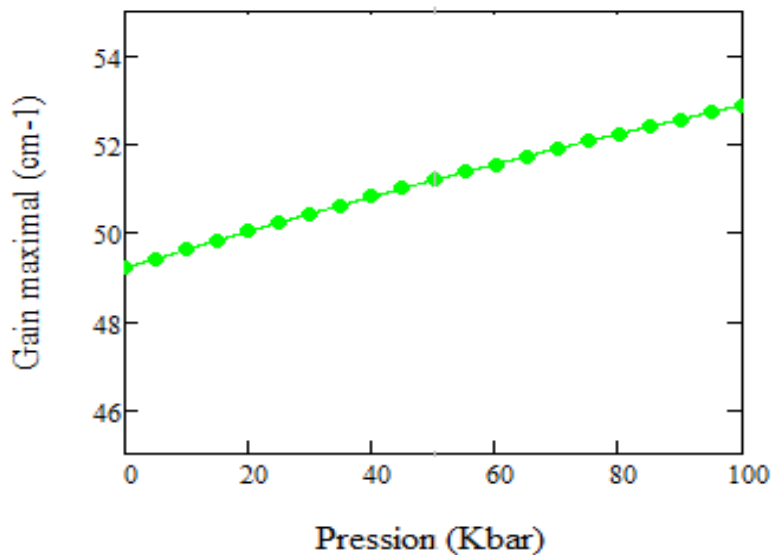


Figure 4. 6. Variation du gain maximal en fonction de la pression

### 8. Variation du gain maximal en fonction de la Longueur d'onde

À travers de la figure 4.7 qu'illustre la Variation du gain maximal en fonction de la Longueur d'onde augmente, en remarquant le gain augmenter à l'intervalle [25-50] nm, et reste constant dans l'intervalle [50-200] nm et reprend s'augmentation dans l'intervalle [200-290] avec des valeurs très élevées.

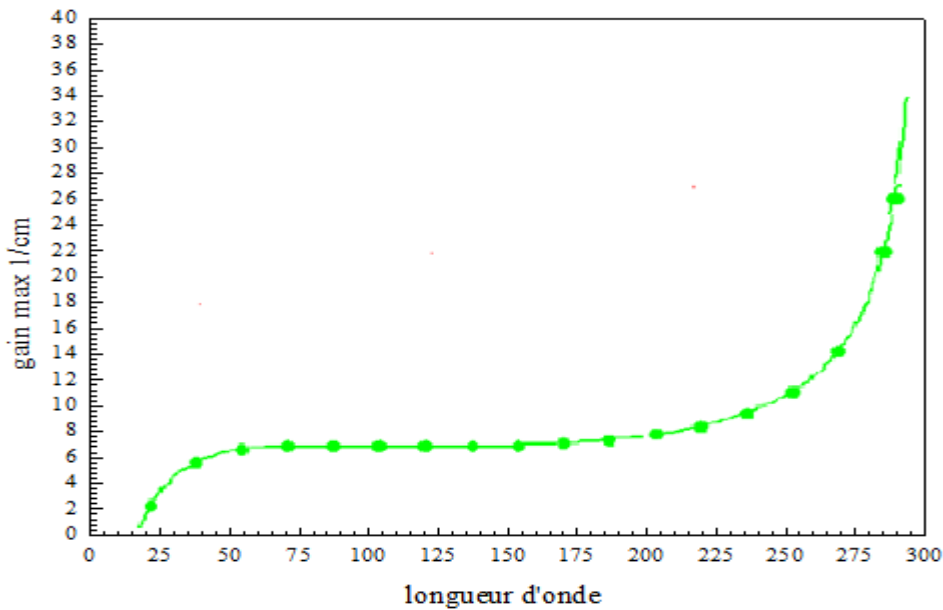


Figure 4. 7.Variation du gain maximal en fonction de la Longueur d'onde

### 9. Variation du gain maximal en fonction de la densité des porteurs

La figure 4.8 représente les variations du gain maximum  $G_{max}$  en fonction de l'injection  $N$ , pour différentes valeurs de la largeur du puits  $L_p$ . Ces courbes ont été obtenues à partir des courbes de la figure 4.7, pour différentes injections  $N$ . On constate que le gain maximum croît lorsqu'on fait augmenter l'injection des porteurs. A partir du gain maximum on peut déterminer le gain au seuil et le courant de seuil de la diode laser à puits quantique contraint de cette structure.

Cette différence s'annule lorsqu'il y a un équilibre dans la probabilité de présence des électrons et des trous, ce point s'appelle **condition** ou **point de transparence** La densité de transparence dans BAIGaN trouvée a valeur de  $30.10^{18} \text{ cm}^{-3}$

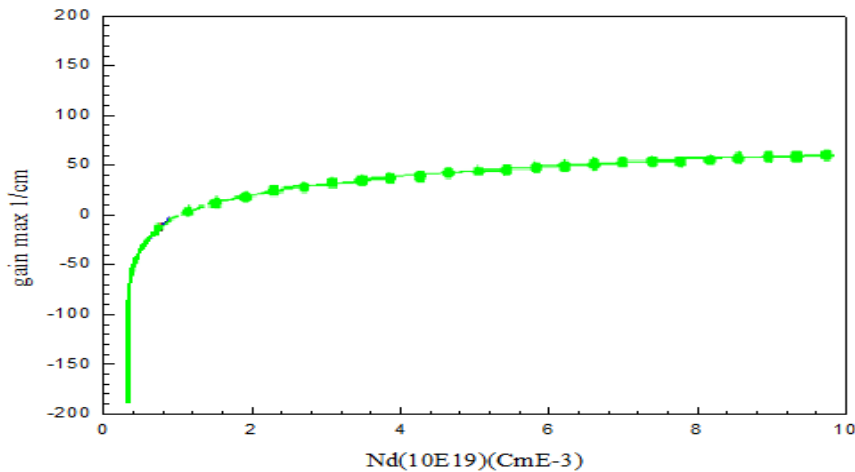


Figure 4.8. Variation du gain maximal en fonction de la densité des porteurs

### 10. Variation du gain maximal en fonction du courant de pompage

Grâce à notre étude à Variation du gain maximal en fonction du courant de pompage A noté que l'augmentation de le **gain maximal** associée à une augmentation du **courant de pompage**.

D'une densité de courant égale à  $127 \text{ A/cm}^2$  qui appelé une densité de courant de transparence et correspond à un gain nul. En prenant en considération le temps de relaxation intra bande égale  $5 \cdot 10^{-9} \text{ s}$  [3]

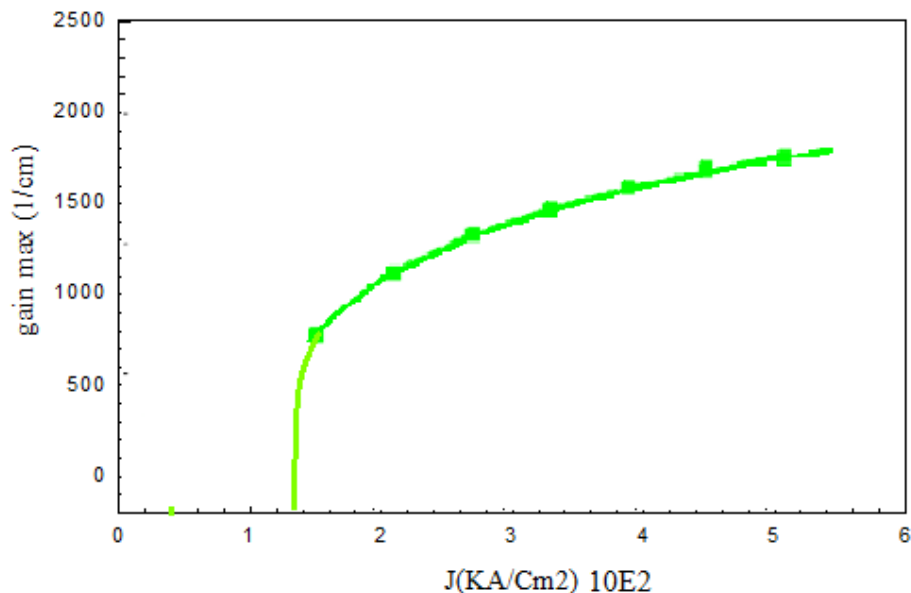


Figure 4.9. Variation du gain maximal en fonction du courant de pompage

**11. Conclusion**

Enfin, nous concluons cette étude sur la structure avec la concentration du bore égale 12.5% et de largeur de puits égale 10 nm dont la température égale a300k et avec un puits unique a fort taux de bore dans la barrière et faible taux dans la couche active est la structure la plus prometteuse pour atteindre un facteur de confinement et gain maximal élevés. Remarque à travers de cette étude on a une structure d'un laser.

# *CONCLUSION GENERALE*

### CONCLUSION GENERALE

Notre travail dans ce mémoire est basé sur l'étude de l'optimisation des paramètres physique d'une structure BAIGaN/GaN nous avons traité les propriétés physiques et électroniques des semi-conducteurs III-V (alliages, paramètres de maille, structures de bande...) nous avons focalisé notre étude sur le rôle du nitrure de galium et son importance dans la nouvelle technologie du semi-conducteur celui-ci est principalement utilisé en microélectronique pour des circuits intégrés, dans les cellules photovoltaïques et dans les dispositifs optoélectroniques tels que les diodes électroluminescentes .

On a vu aussi plusieurs technique de croissance épit axiale et différent types des alliages passant avec leurs propriétés électronique, cette conclusions importantes de ce travail nous résume une nouvelle hypothèse qui pourrait fonctionner pour créer des nouveaux composants opto- électronique qui ont un gain maximale et densité de courant minimale cela serai une révolution dans le monde de la nouvelle technologie.

Dans ce mémoire nous avons pris une large partie dans laquelle on a fait une simulation avec le logiciel MATLAB ET SILVACO (incorporation du bord, l'effet de température et pression sur le gap d'énergie, la variation du gain maximal en fonction de la longueur d'onde, densité de courant minimale).

En perspective, notre travail porte sur un objet d'étude bien précis et une recherche qui pourrait être utile dans le domaine de la technologie et les nouvelles inventions notamment BAIGaN/GaN.

### ملخص .

الهدف من هذا العمل هو الدراسة النظرية لخصائص الإلكترونية والضوئية لهذه البنية BAIGaN/GaN وتحديد تركيز البور حتى يتسنى للطبقة النشطة BAIGaN الانسجام مع حامله GaN . وكذا تحديد طول الموجة المنبعثة من هذه البنية ودراسة قرينة الانكسار وعرض البئر وكذا الحاجز الكموني وتأثره بالعوامل الخارجة كدرجة الحرارة مثلا او الضغط بغرض الحصول على كميات ضوء كبيرة مقابل تيار العتبة صغير.

### الكلمات المفتاحية

- أشباه الموصلات III/V - صمام تنائي ليزري - سبيكة - غير متجانسة آبار الكم - التنبئة - قرينة الانكسار - الطول الموجي - قياس التضخيم - تكنولوجيا التصميم بمساعدة الحاسوب

### Résumé :

Le but de ce travail basé sur une étude théorique à des propriétés électroniques et optiques de BAIGaN, ainsi nous avons calculé la concentration du bore .pour voir une adaptation entre la couche active et le substrat de GaN.

En fin nous déterminons la longueur d'onde qui émis cette structure et l'indice de réfraction et largeur de puits et le facteur de confinement, Et influence des paramètres externes comme la température et la pression sur le gain optique pour obtenir un gain maximal par apport une densité de courant minimal .

### Mots-clés

Semi-conducteur III/V -Diode Laser - Alliage -Hétérostructure - Puits quantiques - Épitaxie - Indice de réfraction - Longueur d'onde - Gain - Technology Computer-Aided Design