

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE ECHAHID HAMMA LAKHDAR-EL OUED
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE



Mémoire

**Présenté par :Sebaa Abdelali ;Rezzoug Taoufik ; Lemghedem
Mabrouk et Ladgheme Abdelkader**

**Pour l'obtention du Diplôme de Mastres en Systèmes de
Communication**

Spécialité : Systèmes de Communication

Mémoire

**Etude et Simulation d'un transistor MESFET en
GaAs.**

Devant le jury composé de :

- Mr. ABDELLATIF KHELIL	Université d'EL Oued	Président
- Mr. CHEMSA ALI	Université d'EL Oued	Encadreur
- Mr SADOON ALI	Université d'EL Oued	Co-encadreur
- Mr. TOUHAMI RIDHA	Université d'EL Oued	Examineur

Année universitaire : 2021/2022

DÉDICACES

A la mémoire de mon père.

A ma mère

Mes frères et soeurs .

A mes frères.

A tous ceux qui me sont chers

SEBAA ABDELALI;REZZOUG TAOUFIK; LEMGHEDEM MABROUK et LAD-
GHEME ABDELKADER

REMERCIEMENTS

- ▷ Avant tout je remercie ALLAH le Tout-puissant de m'avoir donné le courage, la volonté et la patience pour réaliser ce travail.
- ▷ Je tiens à remercier mon encadreur et mon Dr SADOUN Ali qui a accepté de me diriger et m'orienter pour mener ce travail à terme
- ▷ Enfin, je remercie mes chers parents toute ma famille qui m'ont toujours aidé et encouragé pour poursuivre mes études.

TABLE DES MATIÈRES

Introduction générale	1
1 Propriété physique de GaAs	3
1.1 Introduction	4
1.2 Définition d'un semi-conducteur	4
1.2.1 Type des semi-conducteurs :	5
1.2.2 Semi-conducteur intrinsèque :	5
1.2.3 Semi-conducteur extrinsèque	5
1.3 Les alliages :	6
1.3.1 Définition d'un alliage :	6
1.3.2 Classification des alliages	6
1.4 Généralités sur les composés semi-conducteurs III-V	7
1.5 L'Arsenic de Gallium (GaAs) :	8
1.5.1 Structure cristalline :	8
1.5.2 Structure de bande d'énergie de GaAs	9
1.5.3 Propriétés physiques et électroniques de GaAs	9
1.6 Méthode de Croissance GaAs	10
1.6.1 L'épitaxie	10
1.6.2 Les méthodes expérimentales	10
1.7 Méthode aux chlorures :	11
1.8 Conclusion :	12
2 Etude les transistors à effet de champ	14
2.1 Introduction	15
2.2 le contact Métal semi-conducteur	15
2.2.1 Travail de sortie	15
2.2.2 Affinité électronique	15
2.2.3 Le contact ohmique	15
2.3 Hétérojonction SC/SC :	17
2.3.1 Diagramme de bandes d'énergie d'une hétérojonction SC/SC :	17
2.4 Le Transistor MESFET GaAs	18
2.4.1 Types des MESFETs en GaAs	18

2.5	Structure du MESFET	19
2.6	Fonctionnement du MESFET (sans grille)	20
2.7	Equations fonctionnelles du MESFET intrinsèque.	21
2.8	Paramètres d'un MESFET[18][19]	22
2.8.1	Fréquences f_t et f_{max}	22
2.9	Conclusion	23
3	Modélisation physiques et outils de simulation	26
3.1	Introduction	27
3.2	Le rôle de la simulation	27
3.3	L'environnement ATLAS	28
3.3.1	ATHENA :	28
3.4	L'ordre des commandes	29
3.4.1	Spécifier le maillage initial	30
3.4.2	Région	31
3.4.3	Électrode	31
3.4.4	dopage	32
3.4.5	MATERIAL	32
3.4.6	INTERFACE	32
3.4.7	BEAM	32
3.4.8	MODELS	32
3.4.9	METHOD	32
3.4.10	L'analyse des résultats :	33
3.5	Conclusion	34
4	Résultats et Interprétations	36
4.1	Introduction	37
4.2	Interprétation des Résultats	37
4.3	Paramètres de simulation	37
4.4	Les caractéristiques électriques du MESFET	37
4.4.1	Effet des résistances parasites sur les caractéristiques I-V	37
4.4.2	Caractéristiques capacité tension « C-V »	39
4.4.3	Influence du dopage de canal « Nd »	40
4.4.4	Variation de l'épaisseur de la couche active	40
4.4.5	Variation de la largeur du canal	41
4.4.6	L'effet de la longueur de la grille (Lg) sur les caractéristiques du transistor MESFET	41
4.4.7	L'influence de la température	43
4.5	Conclusion	44
	Conclusion générale	46

TABLE DES FIGURES

1.1	<i>Structure en bandes d'énergie des matériaux ; isolants, semi-conducteurs et métaux.</i>	4
1.2	<i>Types de semi-conducteurs extrinsèque au zéro absolu.</i>	6
1.3	<i>Semi-conducteurs III-V à gap direct et indirect.</i>	7
1.4	<i>Structure cristalline du GaAs.</i>	8
1.5	<i>Structure de bande schématique d'un semi-conducteur à gap direct et gap indirect.</i>	9
2.1	<i>Structure cristalline : Structure de bande métal-semi-conducteur de type n[3]</i>	16
2.2	<i>Diagramme de bande d'énergie d'une aniso-type hétérojonction n-p à l'équilibre thermodynamique [4].</i>	18
2.3	<i>Diagramme énergétique d'une hétérojonction n-n iso-type à l'équilibre thermodynamique [4].</i>	19
2.4	<i>Structure du MESFET.</i>	20
2.5	<i>Structure du MESFET "Le canal".</i>	20
2.6	<i>Fonctionnement du MESFET (sans grille).</i>	21
3.1	<i>Le rôle de simulation[1]</i>	27
3.2	<i>L'environnement ATLAS</i>	28
3.3	<i>L'outil DeckBuild</i>	29
3.4	<i>Diagramme de la simulation numérique via Silvaco[3, 4]</i>	30
4.1	<i>Effet des résistances parasites sur la caractéristique ($I_{ds} - V_{ds}$)</i>	39
4.2	<i>le courant de drain en fonction de la tension Drain-Source pour différentes valeurs de dopage GaN</i>	39
4.3	<i>Influence de la concentration du dopage du canal sur les caractéristiques $I_{ds}(V_{ds})$</i>	40
4.4	<i>le courant de drain en fonction de la tension Drain-Source, pour différentes épaisseurs de la couche active</i>	41
4.5	<i>Influence de la longueur de grille sur le courant de drain du transistor MESFET</i>	42
4.6	<i>Influence de la longueur de grille sur la caractéristique de courant-drain- tension-drain ($I_{ds}-V_{ds}$) du transistor MESFET</i>	42
4.7	<i>L'influence de la température sur le courant de drain en fonction de la tension Drain-Source pour différentes valeurs de température</i>	43

LISTE DES TABLEAUX

2.1	<i>donne les travaux de sortie de quelques métaux</i>	15
2.2	<i>les affinités de semi-conducteur[1, 2]</i>	16
3.1	<i>L'ordre des commandes[2]</i>	29
4.1	<i>Paramètres géométriques et technologiques des transistors)</i>	37
4.2	<i>Paramètres électroniques utilisés pour la simulation.)</i>	38

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Depuis le début des années 1980, la conception de circuits intégrés monolithiques hyperfréquences (MMIC) a conduit au développement de modèles précis pour le MESFET AsGa . Pour une telle application, les performances en temps calcul du modèle n'ont que peu d'importance puisque les MMIC ne font intervenir qu'un petit nombre de transistors. Par suite, les expressions semi-empiriques décrivant, soit la source de courant interne du MESFET AsGa, soit les dépendances non linéaires des éléments parasites, sont généralement complexes afin de conserver une grande précision . De tels modèles ne peuvent être utilisés pour des applications de type circuits logiques correspondant à des niveaux d'intégration moyen (MSI) ou grand (LSI). De plus les programmes de simulation qui leur correspondent et qui permettent d'effectuer des simulations harmoniques ou grand signal sont la plupart du temps strictement privés. Il faut aussi souligner que l'implantation d'un modèle MESFET AsGa dérivé du modèle de Curtice dans un simulateur « public » comme SPICE est très récente .

A l'opposé, des modèles très simplifiés de MESFET GaAs existent pour la simulation de circuits logiques . La complexité usuellement admise pour les éléments non linéaires est assez faible, moyennant quoi la simulation de circuits comportant un grand nombre de portes logiques devient possible avec des coûts en temps machine assez faibles. D'une façon générale ces modèles sont une adaptation des équations du JFET silicium et la précision qu'il est possible d'obtenir est trop faible pour évaluer très finement les performances des circuits.

Notre objectif à travers ce modeste travail est de faire en premier lieu une étude théorique , une simulation numérique d'un dispositif MESFET GaAs et de déterminer les caractéristiques électriques I_{ds} - V_{ds} , ensuite nous réaliserons nos structures que nous simulons .Ce travail est contenu quatre parties (chapitres) avec une introduction et conclusion générale telle que :

dans le premier chapitre nous passerons de quelque notion de base aux alliages semi-conducteurs et les propriétés des nitrures à savoir leurs structures cristallines ainsi que leurs propriétés électroniques.

Le deuxième chapitre, sera consacré à l'étude théorique les propriétés statiques du MESFET GaAs il est consacré la caractérisation de les éléments constituant le composant GaAs ainsi que l'effet des pièges.

Dans le troisième chapitre nous présenterons l'environnement de l'ATLAS tel que la spécification de structure, le maillage, Région et Spécification de modèles physiques. Cet outil permet donc l'optimisation, la calibration des simulateurs de procédés et de dispositifs ,il permet de connaître l'influence de quelques paramètres sur l'évolution d'un grand nombre de composants semi-conducteurs en régime continu, en fonction de la température ou fréquence. . . .ect

Dans le quatrième chapitre, nous présentons les différents résultats obtenus avec simulation des caractéristiques statiques des transistors MESFETs GaAs. Au cours Nous avons calculé les différentes caractéristiques en fonction des grandeurs internes du dispositif : les épaisseurs et les dopages des différentes couches

Nous terminerons notre travail par une conclusion générale où seront rassemblés nos principaux résultats et présentées quelques perspectives de ce travail.

CHAPITRE 1

PROPRIÉTÉ PHYSIQUE DE GAAS

1.1 Introduction

L'évolution technologique de ces dernières années a permis une avancée considérable dans l'élaboration des matériaux semi-conducteurs de la famille des nitrures tels que l'AlN, l'InN et le GaN, à partir de composés organométalliques. Afin de pouvoir réaliser des composants électroniques ou optoélectroniques à base de semi-conducteurs de III-V, nous sommes censés connaître les différentes propriétés de ce matériau et les problèmes rencontrés au cours de son élaboration. nous présentons dans ce chapitre, les propriétés générales des nitrures à savoir leurs structures cristallines ainsi que leurs propriétés électroniques.

1.2 Définition d'un semi-conducteur

Les semi-conducteurs sont des corps solides présentant une conductivité électrique intermédiaire entre les métaux et les isolants. Ils sont isolants s'ils sont purs et au zéro absolu, et leurs conductivité électrique augmente avec si on augmente la température.

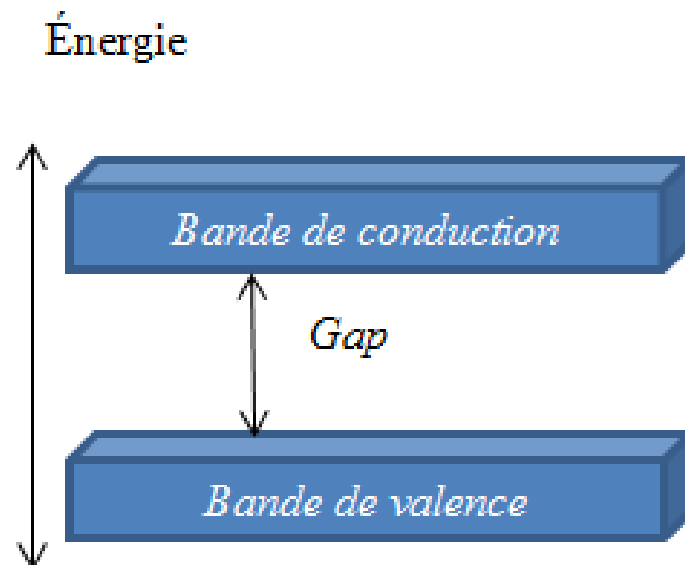


FIGURE 1.1 – Structure en bandes d'énergie des matériaux ; isolants, semi-conducteurs et métaux.

1.2.1 Type des semi-conducteurs :

1.2.2 Semi-conducteur intrinsèque :

Un semi-conducteur dit intrinsèque est un matériau idéal ne possédant ni défaut physique ni défaut chimique . Dans un semi-conducteur intrinsèque la concentration des électrons est identique à la concentration des trous . Le niveau de Fermi d'un semi-conducteur intrinsèque est obtenu en faisant : $E_{Fi} = \frac{E_c + E_v}{2} + \frac{kT}{2} \ln\left(\frac{N_v}{N_c}\right)$, par conséquent

$$E_{Fi} = \frac{E_c + E_v}{2} + \frac{kT}{2} \ln\left(\frac{N_v}{N_c}\right) \quad (1.1)$$

Aussi le niveau de Fermi d'un semi-conducteur intrinsèque est très proche du milieu de la bande interdite à la température ordinaire. La concentration intrinsèque des porteurs de charge est donnée par :

$$n_i^2 = n.p = N_v.N_c. \exp\left(-\frac{E_g}{kT}\right) \quad (1.2)$$

1.2.3 Semi-conducteur extrinsèque

Un semi-conducteur extrinsèque est un semi-conducteur intrinsèque dopé par des impuretés spécifiques lui conférant des propriétés électriques adaptées aux applications électroniques (diodes, transistors, etc...) et optoélectroniques (émetteurs et récepteurs de lumière, etc...).

Semi-conducteurs de type P

Un semi-conducteur type P est un semi-conducteur intrinsèque (ex : silicium Si) dans lequel on a introduit des impuretés de type accepteurs (ex : Bohr B). Ces impuretés sont ainsi appelées parce qu'elles acceptent un électron de la bande de conduction pour réaliser une liaison avec le cristal semi-conducteur .

Semi-conducteurs de type N

Un semi-conducteur type N est un semi-conducteur intrinsèque (ex : silicium Si) dans lequel on a introduit des impuretés de type donneurs (ex : arsenic As). Ces impuretés sont ainsi appelées parce qu'elles donnent un électron à la bande de conduction pour réaliser une liaison avec le cristal semi-conducteur .

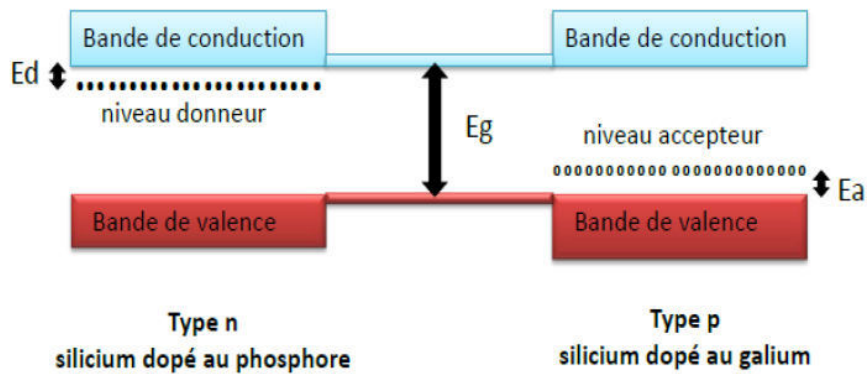


FIGURE 1.2 – Types de semi-conducteurs extrinsèque au zéro absolu.

1.3 Les alliages :

1.3.1 Définition d'un alliage :

On entend par un alliage un mélange homogène de deux ou plusieurs matériaux. Avec Le développement rapide des techniques de la croissance cristalline en peut réaliser des plusieurs alliages binaires, ternaires et quaternaires.

1.3.2 Classification des alliages

Les alliages de façons générales se classent suivant le nombre de constituants dans l'alliage en :

⇒ Alliage binaire : Il est de la forme AB.

⇒ Alliage ternaire : Il est divisé en deux types

Alliage ternaire anionique ABXC1-X.

Alliage ternaire cationique AXB1-XC.

Ce dernier se compose de deux binaires AB et AC

X : Le coefficient stœchiométrique.

⇒ Alliage quaternaire : C'est un mélange composé à partir de quatre matériaux quaternaire, ce type d'alliage est caractérisé par deux coefficients stœchiométriques X et Y.

Il est divisé en deux types :

Alliage quaternaire quadratiques de la forme : A1-xBxCYD1-Y.

Alliages quaternaires triangulaires dans cette classe deux cas :

√Quaternaires cationique triangulaires AXBYC1-x-YD.

√Quaternaires anionique triangulaires ABXC1-X-YD.

1.4 Généralités sur les composés semi-conducteurs III-V

Comme beaucoup de matériaux III-V, le GaN est un semi-conducteur à gap direct, et est donc très adapté pour les applications optoélectroniques. Sur la (figure 1.3)les énergies de bande interdite de quelques semi-conducteurs dont les nitrures sont reportées en fonction de leur paramètre de maille .Les nitrures permettent de couvrir une large gamme en énergie : du très proche infrarouge à l'ultra-violet , en passant notamment par le bleu qui est "inaccessible" aux autres semi-conducteurs III-V. Hormis les difficultés de croissance des hétérostructures nitrurées, la principale discutée pour réaliser des diodes électroluminescentes (DEL) bleues à base de GaN était de maîtriser le dopage p.

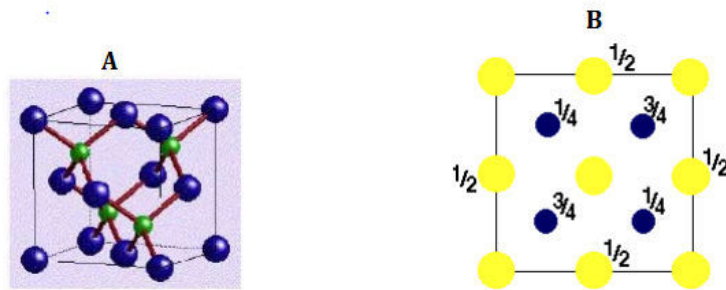


FIGURE 1.3 – *Semi-conducteurs III-V à gap direct et indirect.*

1.5 L'Arsenic de Gallium (GaAs) :

L'arsenic de gallium (GaAs) a été reconnu depuis longtemps comme étant un matériau très favorable pour la conversion photovoltaïque grâce à ses propriétés importantes dont on cite : une bande interdite directe de 1.43eV et une longueur de diffusion des porteurs minoritaires de l'ordre de 2-3 μm [10]. L'arséniure de gallium (GaAs) est un semi-conducteur composé d'un mélange de deux éléments, gallium (Ga) et l'arsénique (As). Le gallium est un élément chimique métallique d'atomique 31.

1.5.1 Structure cristalline :

La figure (1.4) montre la structure tétraédrique de base du GaAs dans laquelle chaque atome de "Ga" a quatre plus proches voisins de "As", et celui-ci a comme plus proches voisins quatre atomes de Ga. Cette figure montre également l'interpénétration des deux sous-réseaux semblables au réseau de diamant avec une constante de réseau 5.6533Å [12].

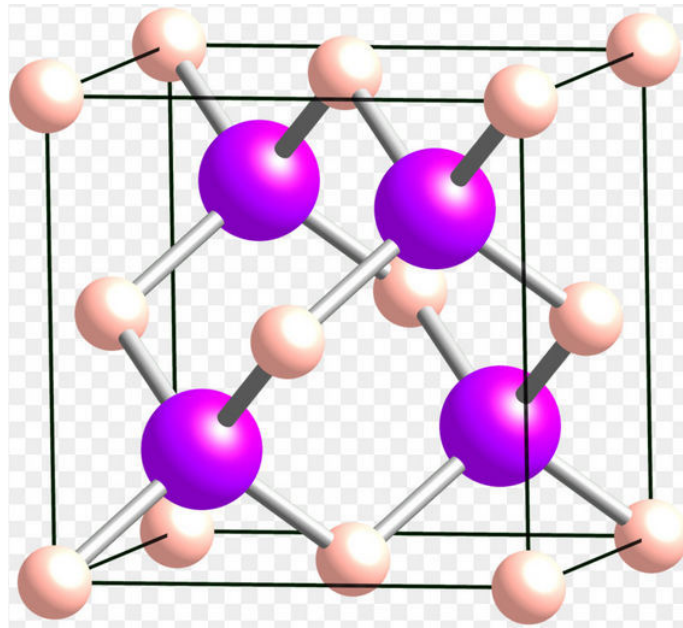


FIGURE 1.4 – *Structure cristalline du GaAs.*

1.5.2 Structure de bande d'énergie de GaAs

Le GaAs est un semi-conducteur III-V, qui comprend aussi 8 électrons par cellule unité (3 provenant du "Ga" et 5 de "As"). Sa structure a un nombre égal de Ga et As distribués sur un réseau de type diamant. Il possède donc, comme le Si et le Ge, 8 bandes dérivées des orbitales SP 3, dont 4 sont entièrement remplies. Sa structure de bande est donnée dans la figure (1.5).

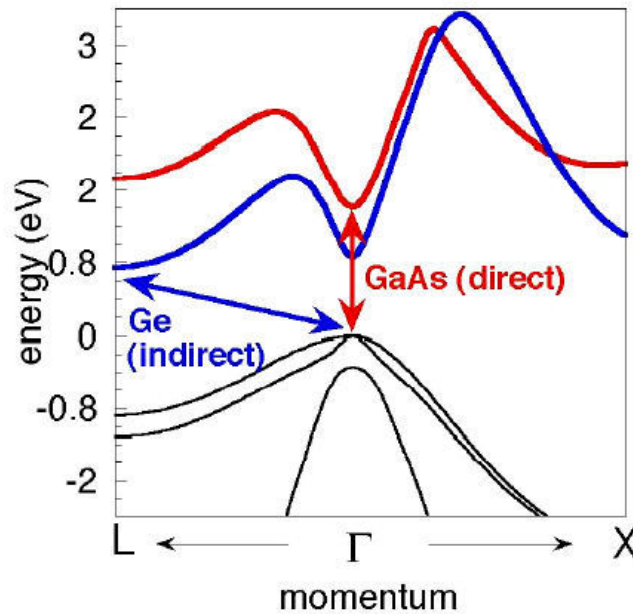


FIGURE 1.5 – Structure de bande schématique d'un semi-conducteur à gap direct et gap indirect.

1.5.3 Propriétés physiques et électroniques de GaAs

Les propriétés physiques et électriques de l'arséniure de gallium à la température ambiante (300K) sont regroupées dans le tableau suivant [6] :!!

Poids atomique	144.63 g/mol
Structure cristalline	Zinc blende (cfc)
Structure de la bande interdite	Directe
Largeur de la bande interdite	$E_g=1.424\text{eV}$
Constante diélectrique	12.5
Densité	5.32 g/cm^3
Densité effective d'état dans la bande de conduction	$N_c=4.7 \times 10^{17}\text{ at.cm}^{-3}$
la bande de valence	$N_v=6 \times 10^{18}\text{ at.cm}^{-3}$
Affinité électronique	$\chi=4.07\text{ eV}$
Concentration intrinsèque des porteurs	$n_i=2.1 \times 10^6\text{ at.cm}^{-3}$
Durée de vie des porteurs minoritaires	$\tau=10^{-8}\text{ s}$

1.6 Méthode de Croissance GaAs

1.6.1 L'épitaxie

C'est une méthode technologique consistant à faire croître un cristal sur un cristal. Etymologiquement, "épi" signifie "sur" et "taxis", si "l'arrangement". La technique va donc consister à utiliser le substrat comme le neutre de germe de croissance et à faire croître la couche par un apport d'éléments constituant la nouvelle couche.[8]

1.6.2 Les méthodes expérimentales

Il existe principalement trois types des méthodes expérimentales :

▷ **l'épitaxie en phase vapeur ou VPE (Vapor Phase Epitaxy) :**

Cette technique consiste à faire croître le cristal à partir de sources de gaz contenant les éléments dopants. Dans le réacteur, les gaz se dissocient pour fournir par exemple le silicium qui se dépose à la surface des plaquettes. Pour assurer une bonne croissance ces dernières sont chauffées. Suivant la température de croissance, les réactions sont très différentes et elles peuvent même conduire à des effets négatifs. Il faudra donc aussi contrôler les équilibres chimiques par injections de gaz résultant de la décomposition de la source [14].

▷ **l'épitaxie en phase liquide ou LPE (Liquid Phase Epitaxy) :**

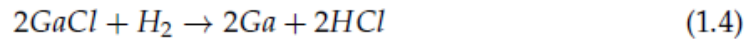
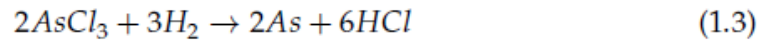
Cette technique consiste à faire croître le cristal par la mise en contact du substrat avec une source liquide. C'est le même principe que le tirage d'un lingot par la méthode Czochralski. Il faut bien contrôler les échanges thermiques pour éviter de liquéfier le cristal existant. Cette méthode présente l'avantage d'être très rapide, la vitesse de croissance peut être de l'ordre du micron par minute [15].

▷ l'épitaxie par jet moléculaire, EJM ou MBE (Molecular Beam Epitaxy).

1.7 Méthode aux chlorures :

La source du 'Ga' est le mono-chlorure de gallium (GaCl) et la source du 'As' est le trichlorure d'arsenic (AsCl₃). Les réactions chimiques se déroulent en présence de l'hydrogène H₂ et l'acide chlorhydrique, HCl [14] :

Le GaCl est introduit comme liquide dans un creuset, qui est porté à la phase vapeur, ensuite, on injecte les autres éléments, le H₂ et AsCl₃ (ainsi que les dopants si on souhaite avoir des couches dopées). Les réactions qui se déroulent sont [14] :



Et finalement, on obtient le GaAs :



1.8 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons donné les notions fondamentales sur les matériaux semi-conducteurs III-V .Cette initiation est nécessaire pour bien comprendre le mécanisme de transpore .

Références

- [1] SHUR, M. S., Solid-State Electron. 22 (1979) 723.
- [2] GOUGH, R. G., IEEE J. Solid-State Circuits SC-17 (1982) 666.
- [3] CURTICE, W. R., YUN, Y.-H., IEEE Trans. Electron Devices ED-28 (1981) 954.
- [4] CURTICE, W. R., CAMISA, R. L., IEEE Trans. Microwave Theor. Tech. MTT-32 (1984) 1573.
- [5] CURTICE, W. R., ETTENBERG, M., IEEE Trans. Microwave Theor. Tech. MTT-33 (1985) 1383
- [6] BOCCON-GIBOD, D., Acta Electronica 23 (1980) 99.
- [7] CURTICE, W. R., IEEE Trans. Microwave Theor. Tech. MTT-28 (1980) 448.
- [8] KACPRZAK, T., MATERKA, A., IEEE J. Solid-State Circuits SC-18 (1983) 211. Cette référence étant une généralisation de : TAKI, T., IEEE J. Solid-State Circuits SC-13 (1978) 724.
- [9] CHUA, L. O., SING, Y.W., IEEE Trans. Electron Devices ED-30 (1983) 825.
- [10] SUSSMAN-FORT, S. E., NARASIMHAN, S., MAYARAM, K., IEEE Trans. Microwave Theor. Tech. MTT-32 (1984) 471.
- [11] GOLIO, J. M., HAUSER, J. R., BLAKEY, P. A., IEEE Circuits Devices Magazine (Sept. 1985) 21.
- [12] SUSSMAN-FORT, S. E., HANTGAN, J. C., HUANG, F. L., IEEE Trans. Microwave Theor. Tech. MTT-34 (1986) 1115.

CHAPITRE 2

ETUDE LES TRANSISTORS À EFFET DE CHAMP

2.1 Introduction

La diode Schottky est un élément de base très utilisé pour la plupart des composants à l'état solide en hyperfréquences dans la mesure où :

- ▷ Elle peut être utilisée seule pour ses caractéristiques non-linéaires en détecteur, mélangeur ou multiplieur, selon les dimensions de la zone active, et les fréquences de coupure supérieures au Téra hertz.
- ▷ Le contact Schottky est l'élément de commande en tension des transistors à effet de champ à grille métal-semiconducteur (MESFET, HEMT ...).
- ▷ L'hétérojonction métal-semiconducteur est aussi à la base du fonctionnement de nombreux dispositifs.

2.2 le contact Métal semi-conducteur

2.2.1 Travail de sortie

Le travail de sortie du métal est défini comme l'énergie minimale qu'il faut fournir à un électron situé au niveau de Fermi pour l'arracher du métal et l'amener au niveau du vide N_V . 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 :

$$q\Phi_m = N_V - E_{fm} \quad (2.1)$$

$$\Phi_{sc} = q(\chi - \Phi_n) \quad (2.2)$$

$$\Phi_n = E_{Csc} - E_{fsc} \quad (2.3)$$

Φ_n et χ la barrière de potentiel dans le semi-conducteur et l'affinité Electronique. Le tableau ci-dessous donne les travaux de sortie de quelques métaux

TABLE 2.1 – donne les travaux de sortie de quelques métaux

Métal	$q\Phi_n$	Métal	$q\Phi_n$	Métal	$q\Phi_n$
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

2.2.2 Affinité électronique

2.2.3 Le contact ohmique

La diode Schottky est réalisée par la jonction d'un métal et d'un semi-conducteur sous certaines conditions, car tous les contacts métal-semi-conducteurs ne présentent pas de diode Schottky. Il existe deux types de contacts [4] :

Dans les semiconducteurs et les isolants, le travail de sortie est défini de la même manière. Cependant pour les semiconducteurs la position du niveau de Fermi dépend du dopage, sauf pour les semiconducteurs dégénères, il n'y a pas d'électrons au niveau de Fermi. Définie par la différence énergétique entre le bas de la bande de conduction E_c du semi-conducteur et le niveau du vide. La différence entre les deux fonctions de travail $\Phi_m - (\chi - \Phi_n)$ s'appelle le potentiel contact[2]

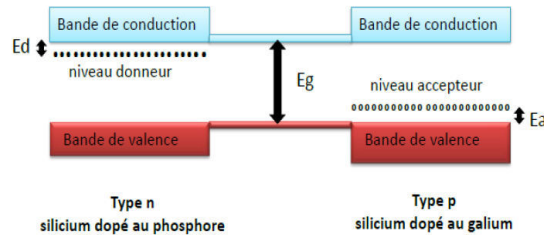


FIGURE 2.1 – Structure cristalline : Structure de bande métal-semi-conducteur de type n[3]

TABLE 2.2 – les affinités de semi-conducteur[1, 2]

semi-conducteur	$q\chi$	
Si	4.01	Simple IV
Ge	4.13	
AlP	3.44	Composés III-VI
AlAs	3.5	
GaN	4.1	
GaAs	4.07	
InP	4.38	
InSb	4.59	
ZnS	3.9	Composés II-VI
ZnSe	4.09	
ZnTe	3.5	
CdTe	4.28	

▷ le contact dit non allié : dans lequel une couche mince s'intercale entre le métal et le semi-conducteur.

▷ le contact allié : Ce dernier, grâce à un long recuit, présente une couche unique réalisant une transition progressive entre le métal et le semi-conducteur.

Un contact ohmique doit satisfaire aux exigences d'un bon contact :

▷ Bonne stabilité mécanique.

- ▷ Bonne stabilité électrique.
- ▷ Pas de dégradation par électro-migration.
- ▷ Bonne tenue en température.

2.3 Hétérojonction SC/SC :

Une hétérojonction est une jonction formée de deux semiconducteurs de nature différente. Dont les structures de bandes sont différentes, en particulier la largeur de la bande interdite, l'affinité électronique et le niveau de dopage [1].

2.3.1 Diagramme de bandes d'énergie d'une hétérojonction SC/SC :

Il existe deux types d'hétérostructure, une hétéro structure aniso-type et iso-type :

▷ L'hétérostructure aniso-type est formée de deux semiconducteurs de type de dopage différent p-n, caractérisés par les affinités électroniques $q\chi_1$ et $q\chi_2$, les bandes interdites E_{g1} et E_{g2} et les dopages représentés par les distances du niveau de Fermi à la bande de conduction. Le premier exemple d'une hétérostructure aniso-type a été proposé par Anderson, le diagramme énergétique de cette hétérostructure abrupte Ge-n/GaAs-p, non polarisée ($V=0$), idéale est représenté par la figure (2.2).

Les différences des énergies dans les bandes de conduction et de valence des deux semiconducteurs sont représentées respectivement par les équations suivantes :

$$\Delta E_C = q(\chi_1 - \chi_2) \quad (2.4)$$

$$\Delta E_v = E_{g2} - E_{g1} \quad (2.5)$$

La tension de diffusion entre les deux semi-conducteurs est donnée par :

$$V_d = V_2 + V_1 = \Phi_2 - \Phi_1 \quad (2.6)$$

Le second type de hétérojonction iso-type peut être formée de deux semiconducteurs à même type de dopage (voir figure 2.3).

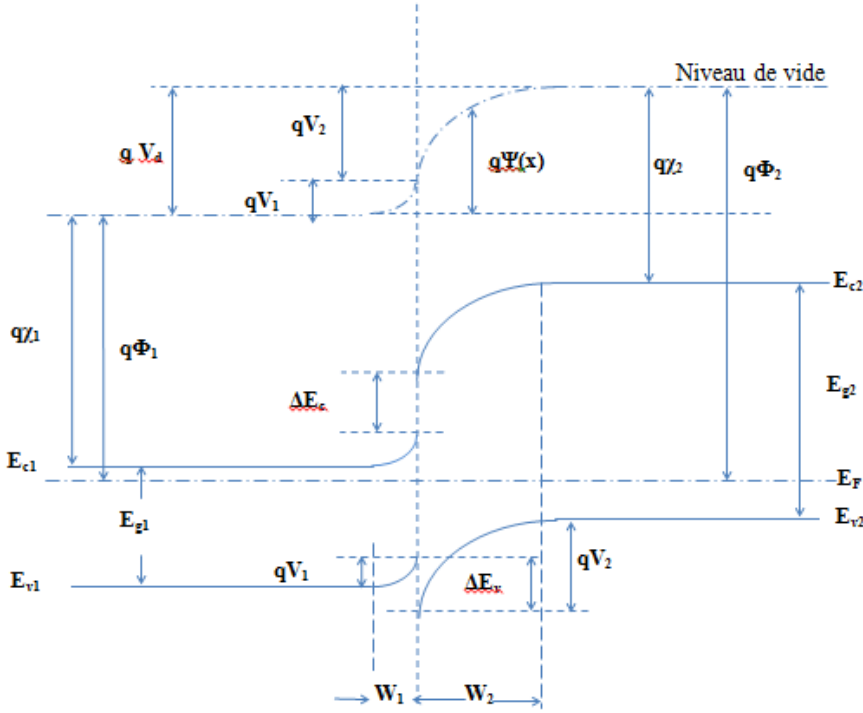


FIGURE 2.2 – Diagramme de bande d'énergie d'une aniso-type hétérojonction n-p à l'équilibre thermodynamique [4].

2.4 Le Transistor MESFET GaAs

Dans cette parties, une présentation détaillée du principe de fonction du transistor MESFET Ga As est donnée.

2.4.1 Types des MESFETs en GaAs

MESFET à canal long

Les MESFETs fabriqués par l'utilisation de la condition $L_g \succ a$, sont appelés des composants à canal long (Long channel devices). Le modèle qui permet la description du comportement de ces composants est appelé le modèle de canal long. Il est présenté en 1951 par Shockley.

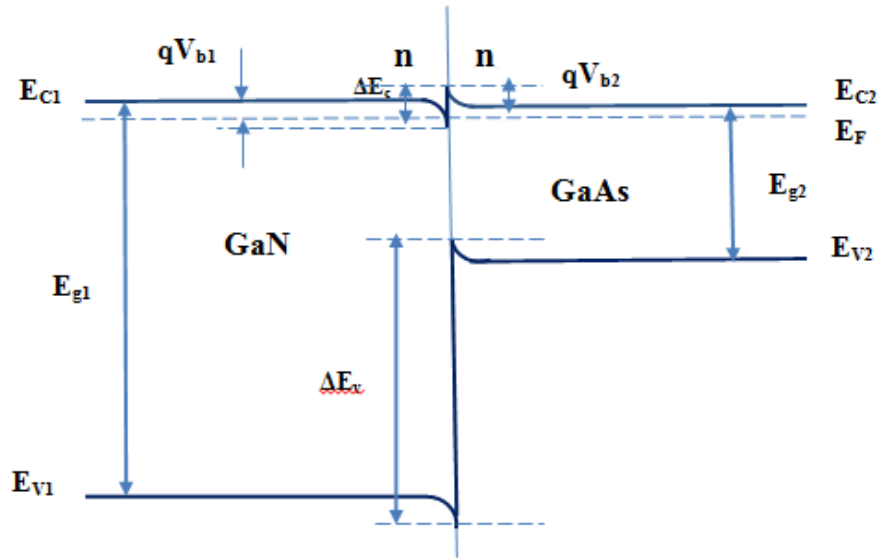


FIGURE 2.3 – Diagramme énergétique d'une hétérojonction n-n iso-type à l'équilibre thermodynamique [4].

MESFET à canal court

Les composants de longueur $L_g < a$ sont appelés composants à canal court. Le modèle de caractérisation courant/tension de ces composants est le modèle à canal court. Selon le modèle de Shockley, le courant de saturation pour les FETs à canal long se produit lorsque le canal est pincé-off sur la côté de drain, alors que dans MESFET micro-ondes, il est dû à la vitesse de saturation [2].

.

2.5 Structure du MESFET

Le matériau de base sur lequel le transistor est fabriqué est un substrat en GaAs (GaAs non dopé : $P' < 1.5 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-3}$).

Une couche tampon est développée par croissance épitaxiale sur le substrat GaAs pour isoler les défauts dans le substrat du transistor.

Le canal ou la couche conductrice est une couche conductrice mince, légèrement dopée (n) à base d'un matériau semi-conducteur épitaxié sur la couche tampon (GaAlAs : $1.5 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$. 40 nm). Comme la mobilité des électrons est environ 20 fois supérieure à celle des trous dans GaAs, le canal conducteur est toujours de type n pour les transistors micro-ondes.

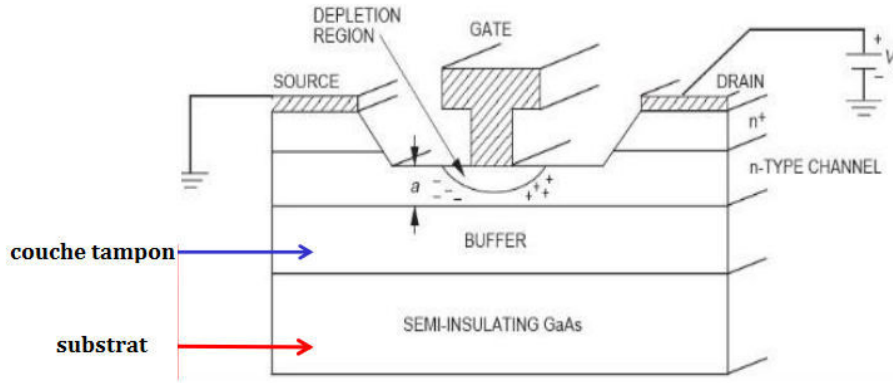


FIGURE 2.4 – Structure du MESFET.

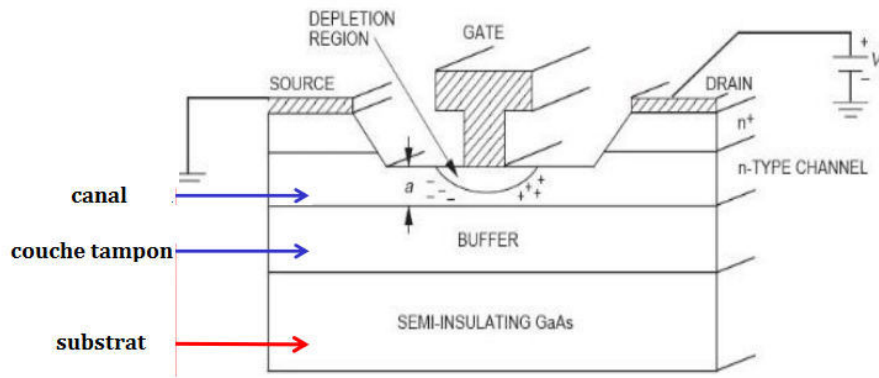


FIGURE 2.5 – Structure du MESFET "Le canal".

2.6 Fonctionnement du MESFET (sans grille)

[16][19] Le fonctionnement de base du MESFET est facilement compris en considérant d'abord les caractéristiques I-V du dispositif sans le contact de la grille. Si une petite tension est appliquée entre la source et le drain, un courant circulera entre les deux contacts.

$$I_D = \frac{V_D}{R_D + R_S + R_{DS}} \quad (2.7)$$

Lorsque la tension augmente, le courant augmente linéairement avec une résistance associée qui est la somme des deux résistances ohmiques, R_S et R_D , et la résistance du canal R_{DS} .

Si la tension est encore augmentée, le champ électrique appliqué deviendra plus grand que le champ électrique requis pour la saturation de la vitesse électronique. Sous une polarisation importante, une expression alternative pour le courant I_D est à établir. cette expression relie le courant directement aux paramètres du canal :

$$I_D = Q(x)v(x) = Zb(x)qn(x)v(x) \quad (2.8)$$

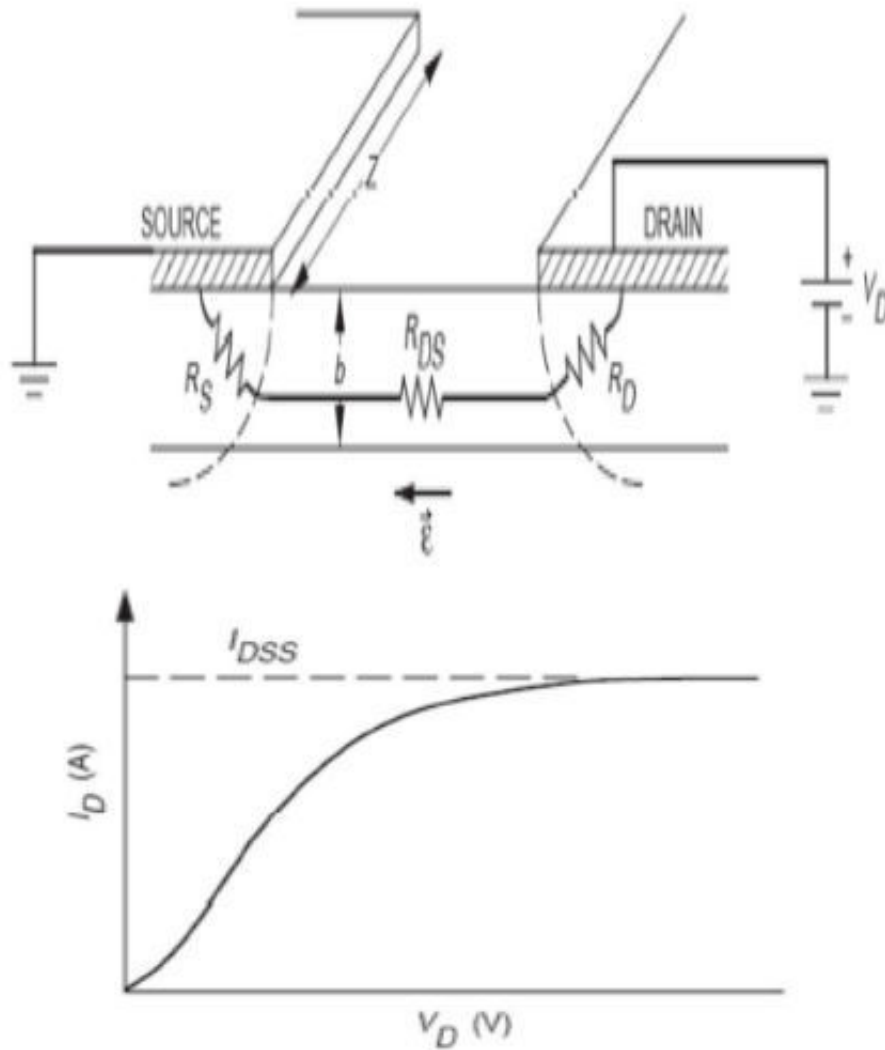


FIGURE 2.6 – Fonctionnement du MESFET (sans grille).

2.7 Equations fonctionnelles du MESFET intrinsèque.

L'ensemble des équations (2.9) à (2.11) régissant les phénomènes de transport de charges à l'intérieur d'un transistor MESFET intrinsèque à canal non uniformément dopé sont établies[11-13]

Equation de Poisson :

$$\nabla^2 \psi(x, y, z) = -\frac{\rho(x, y, z)}{\epsilon} \quad (2.9)$$

Potentiel électrique :

$$\vec{E} = -\vec{\nabla}(\psi) \quad (2.10)$$

Densité du courant :

$$J_x = \sigma(x, y, z)E_x \quad (2.11)$$

Les grandeurs physiques qui interviennent dans ces équations sont les suivantes :

$E(x, y)$ le champ électrique,

$\psi(x, y, z)$ est le potentiel électrique dans la zone d'activité.

J_x est la densité de courant de conduction,

$\sigma(x, y, z)$ est la conductivité du canal,

$\rho(x, y, z)$ est la densité de charges d'espace dans le semi conducteur.[17][19]

2.8 Paramètres d'un MESFET[18][19]

Les paramètres qui caractérisent un MESFET pour une application HF sont : ▷ Le produit gain - bande passante ;

▷ La fréquence d'oscillation $f_{\max}$;

▷ La fréquence f_t pour laquelle le gain de puissance=1.

2.8.1 Fréquences f_t et $f_{\max}$

Si on se place dans le cadre des approximations du canal court, la fréquence f_t peut être liée au temps de transit, τ , des électrons à travers le canal par l'expression :

$$f_t = \frac{1}{2\pi\tau} = \frac{v_{sat}}{2\pi L} \quad (2.12)$$

Où v_{sat} est la vitesse de saturation $\approx 2.10^5 m/s$ pour GaAs, La fréquence $f_{\max}$ peut être approchée par/

$$f_{\max} = \frac{f_t}{2} \sqrt{\frac{R_{DS}}{R_G}} \quad (2.13)$$

Où R_G est la résistance de la grille.

2.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons défini quelques rappels théoriques concernant jonction semiconducteur -semiconducteur. Ainsi, nous avons exposés les différents types des MESFETs en GaAs ,Fonctionnement du MESFET ,Equations fonctionnelles du MESFET intrinsèque et Paramètres d'un MESFET .

Références

- D.R. Lide, CRC handbook of chemistry and physics, CRC press, 2004.
- [2] H. Mathieu, H. Fanet, Physique des semiconducteurs et des composants électroniques, Dunod Paris, 2001.
- [3] S. Sze, There is no corresponding record for this reference.[Google Scholar] 790-838.
- [4] G. Greco, F. Iucolano, F. Roccaforte, Applied surface science 383 (2016) 324-345.
- [5] J. Bardeen, Physical review 71 (1947) 717.
- [6] O. TERGHINI, Simulation numérique des effets de radiation dans les détecteurs de particules à base de silicium de type p, in : Université de Biskra, 2015.
- [7] N. Vellas, Études expérimentales de transistors HFET de la filière nitrure de gallium pour des applications de puissances hyperfréquences, in : Lille 1, 2003.
- [8] A. Cowley, S. Sze, Journal of Applied Physics 36 (1965) 3212-3220.
- [9] M. Turner, E. Rhoderick, Solid-State Electronics 11 (1968) 291-300.
- [10] H. Fujitani, S. Asano, Applied surface science 41 (1990) 164-168.
- [11] Jean lois cazaux " analyse des propriétés électriques du transistor à effet de champs en arséniure de gallium à profil de dopage non uniforme "; Thèse de doctorat , Université de Toulouse, 2005.
- [12] O. Baunnaud " composant à semiconducteur de la physique du solide aux transistors" ellipses. France 2006.
- [13] S.Khemissi " modélisation non linéaire des composants a effet de champ " Thèse de doctorat Université Constantine, 2009.
- [14] A. LALOUE "Modélisation non linéaire distribuée des transistors à effet de champ : application à l'analyse de la stabilité des transistors et des caractéristiques en bruit dans les circuits MMIC" Thèse de doctorat, Université de Limoges, France 2001.

[15] C Charbonniaud "Caractérisation et modélisation électrothermique non linéaire de transistors à effet de champ GaN pour l'amplification de puissance micro-onde" Thèse de doctorat, Université de Limoges, France 2005.

[16] Y.Ohno, and All "Surface states effects on GaAs FET electrical performance", IEEE Tran. El. Dev. Vol 46, N1, 1999.

[17] A. Wakabayashi, Y.Mitani, K.Horio "Analysis of gate-lag phenomena in recessed-gate GaAs MESFET's", IEEE Tran. El. Dev. Vol 49, N 1, 2002.

[18] K.Shenai, R.W.Dutton "cannel buffer interface phenomena in GaAs MESFET's fabricated by molecular beam epitaxie", IEEE Tran. El. Dev, Vol 35, N 5, 1988.

[19]Henry Mathieu Hervé Fanet « Physique des semiconducteurs et des composants, électroniques » Editeur : Duno

CHAPITRE 3

MODÉLISATION PHYSIQUES ET OUTILS DE SIMULATION

3.1 Introduction

La simulation sur ordinateur a été inventée comme un outil scientifique en météorologie et en physique nucléaire dans la période qui a immédiatement suivi la seconde guerre mondiale. Elle est depuis devenue indispensable dans un nombre croissant de disciplines. Les simulations informatiques sont devenues un élément utile de la modélisation mathématique de nombreux systèmes naturels en physique, chimie et biologie, des systèmes humains en économie, en psychologie et en sciences sociales, ainsi que dans le processus d'ingénierie de nouvelles technologies et bien d'autres, afin de mieux comprendre le fonctionnement des ces systèmes.

SILVACO est conçu avec l'outil de simulation ATLAS spécialement pour modélisation bidimensionnelle et tridimensionnelle de composants basée sur la physique des semiconducteurs, y compris caractéristiques électriques, optiques et thermiques. Il est capable de prédire les caractéristiques électriques et optiques pour la plupart des composants à semiconducteurs. Dans ce chapitre, nous présenterons les bases du travail de logiciel SILVACO.

3.2 Le rôle de la simulation

Le rôle de la simulation est de faire un lien entre le monde expérimental et le monde théorique comme le montre la figure 3.1 dans le but d'économiser le temps et le coût de développement, Cet outil permet donc l'optimisation la calibration des simulateurs de procédés et de dispositifs. nous présenterons le logiciel de simulation TCAD-SILVACO (ATLAS), son principe de fonctionnement et son module de simulation pour le comportement électrique des composants. Ensuite, nous présentons une description des différentes étapes de simulation..

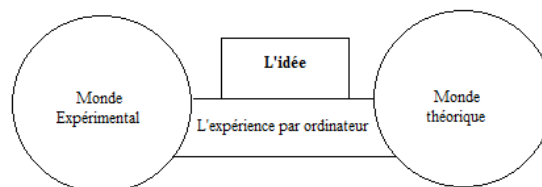


FIGURE 3.1 – *Le rôle de simulation*[1]

3.3 L'environnement 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.

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]

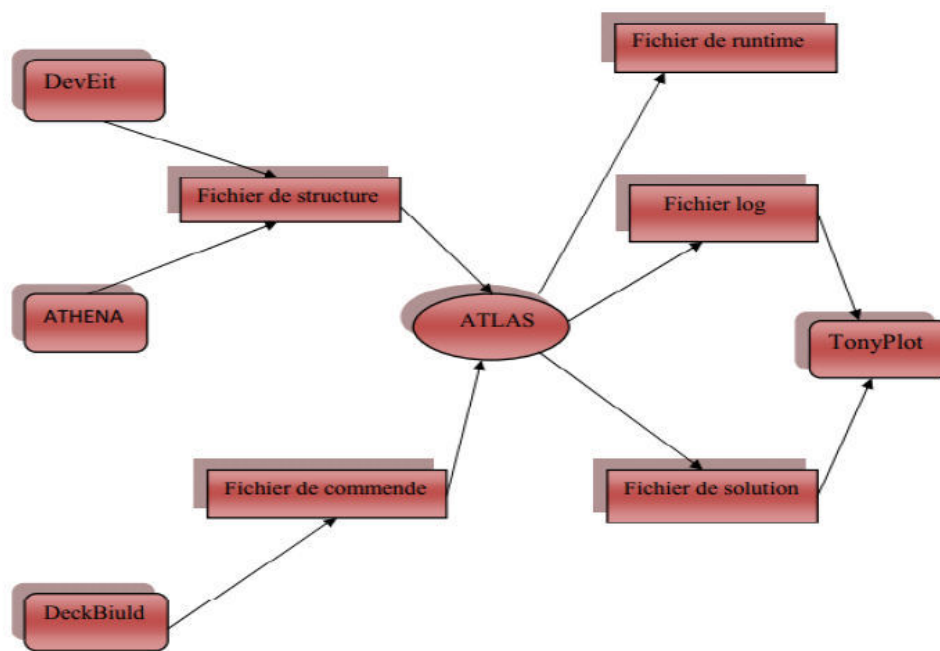


FIGURE 3.2 – L'environnement ATLAS

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 outil de visualisation et d'analyse graphique 1D et 2D des résultats des simulations.

3.3.1 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

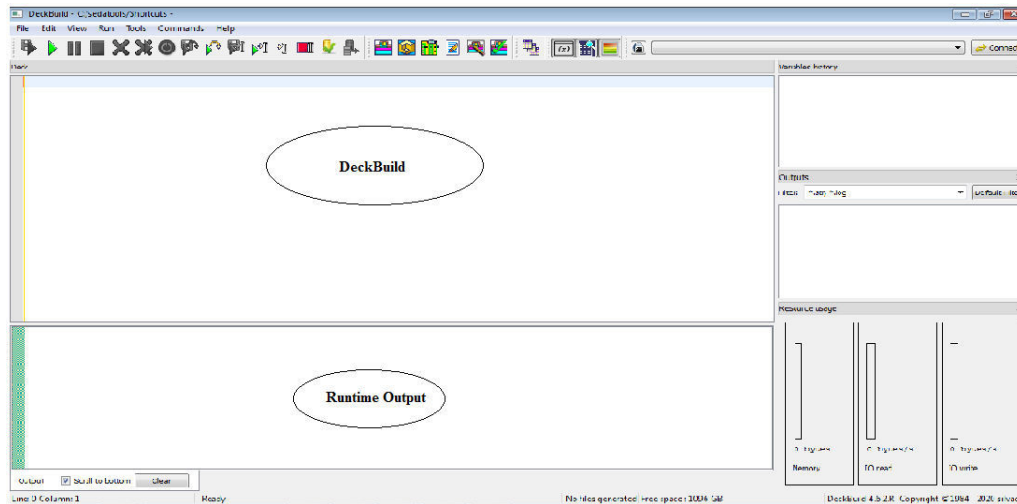


FIGURE 3.3 – L'outil DeckBuild

différentes structures des diodes Schottky [2]

3.4 L'ordre des commandes

Après la présentation de la chaîne progicielle TCAD de SILVACO, sa composition interne et le fonctionnement « d'Atlas » nous allons maintenant présenter l'ordre des commandes propres à la logique de programmation « d'Atlas ». Il existe des commandes pour définir une structure de périphérique dans Le logiciel Atlas il y a cinq groupes d'instructions qui doivent apparaître dans un ordre correct (Ordres des groupes des commandes dans un programme Atlas) comme le montre le Tableau.1 et la Figure 3.4 pressante diagramme de la simulation numérique via Silvaco

TABLE 3.1 – L'ordre des commandes[2]

	Groupe	Instruction
1	Spécification de structure	MESH, REGION, ELECTRODE, DOPING
2	Spécification du modèle	MATERIAL, MODELS, CONTACT, INTERFACE
3	Méthode numérique	METHOD
4	La solution	LOG, SOLVE, LOAD, SANE
5	Analyse	EXTRACT, TONYPLOT

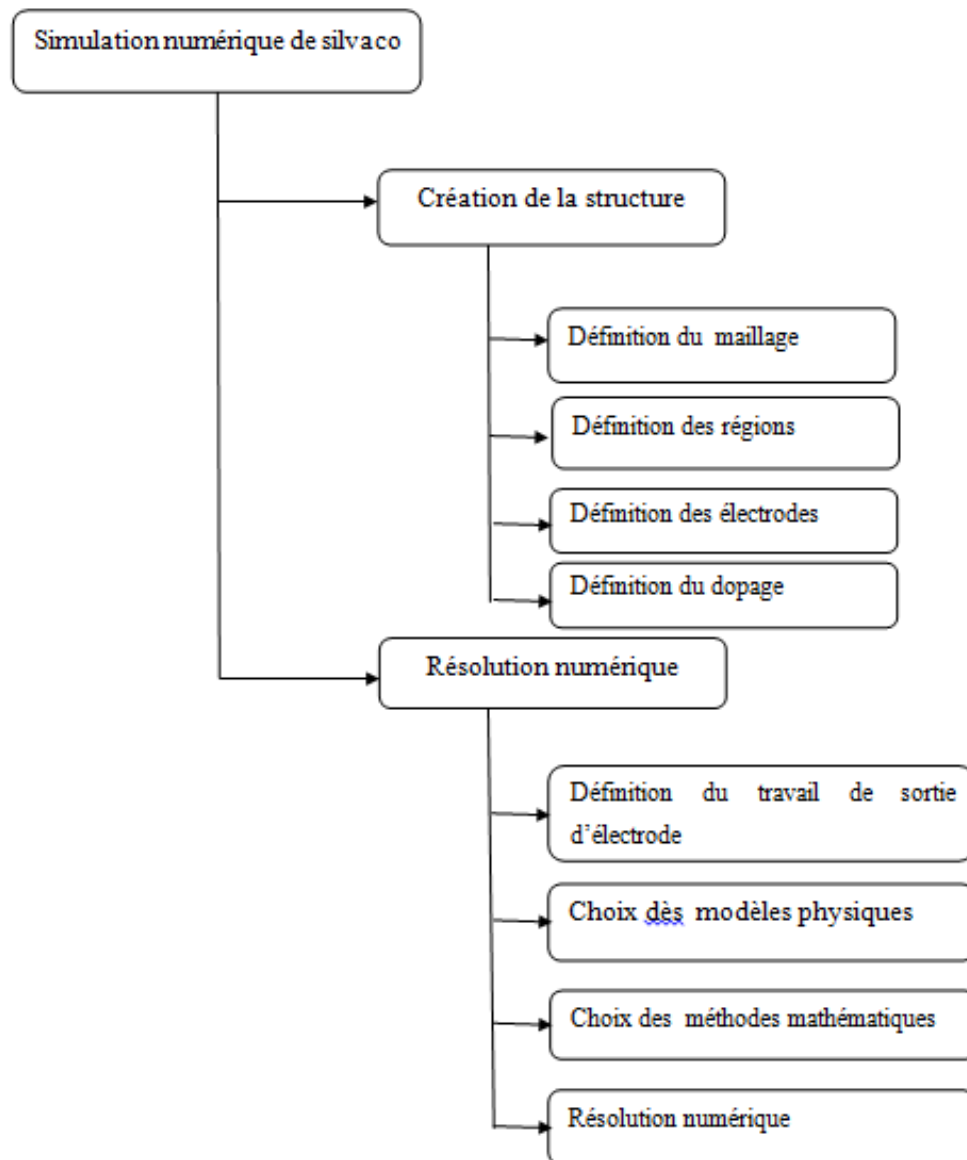


FIGURE 3.4 – Diagramme de la simulation numérique via Silvaco[3, 4]

3.4.1 Spécifier le maillage initial

Le maillage utilisé pour cette thèse est bidimensionnel. Par conséquent, seuls les paramètres x et y sont définis. Le maillage est une série de lignes horizontales et verticales et d'espacement entre eux.

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

$\prec$ MAILLECYLINDRIQUE $\succ$ Ceci est suivi d'une série d'énoncés X.MESH et Y.MESH.

X.MESH LOCATION = $\prec$ VALEUR $\succ$ SPACING = $\prec$ VALEUR $\succ$

y.MESH LOCATION = $\prec$ VALEUR $\succ$ SPACING = $\prec$ VALEUR $\succ$

Exemple :

```
x.mesh loc=0.0 spac=0.25  
x.mesh loc=10.0 spac=0.25
```

Loc : définit l'intervalle de maillage

Spac : définit la résolution du maillage

3.4.2 Région

Les régions sont définies par l'instruction suivante :

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.

Exemple :

```
Region num=1 material=Au y.max=0.0  
region num=1 material=AlGaIn y.min=0.4  
Dans Atlas, le nombre maximum de régions pouvant être définies est 15 000.  
L'instruction de région est donnée sous forme de flux.[4]
```

3.4.3 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 = < NOMD'LECTRODE > < POSITIONPARAMETERS >

Les instructions suivantes :

X.MIN : Spécifie le point de départ de l'électrode.

RIGHT : la position de l'électrode se situe à la droite de la structure (inverse : LEFT).

TOP : la position de l'électrode est en haut de la structure (inverse : BOTTOM).

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
```

3.4.4 dopage

Le dernier aspect de la spécification de la structure qui doit être défini est le dopage. Le format de l'atlas déclaration est la suivante :

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

DOPING N.TYPE CONC = 1.2E17 MATERIAU UNIFORME = AlGaIn

3.4.5 MATERIAL

MATERIAL permet de définir des paramètres propres associés à chaque matériau tels que la bande interdite, la permittivité, la mobilité des porteurs. Dans ATLAS, les paramètres par défauts de plusieurs matériaux sont déjà implémentés.

3.4.6 INTERFACE

INTERFACE permet de définir les paramètres associés à l'interface de deux régions. Ces paramètres sont appliqués à l'interface

3.4.7 BEAM

BEAM indique un signal d'entrée optique sous forme d'un faisceau de lumière monochromatique ou polychromatique. Le faisceau ainsi défini est activé avec la commande SOLVE. BEAM est utilisé pour calculer des courants sous lumière ou des réponses spectrales.

3.4.8 MODELS

MODELS spécifie les modèles physiques utilisés et la température globale de la structure.

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. Le choix du modèle dépend des matériaux choisis pour la simulation.

L'exemple ci-dessous cite quelques modèles. **CONMOB** est le modèle de la concentration dépendante.

FLDMOB est le modèle de dépendance du champ électrique (mobilité) .

SRH est le modèle de Schottky-Read-Hall[3].

3.4.9 METHOD

METHOD permet de choisir les méthodes numériques à employer pour résoudre les équations et aussi de choisir les paramètres liés à ces algorithmes.

3.4.10 L'analyse des résultats :

Tony Plot :

TonyPlot 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[5] TONYPLOT file1.LOG TONYPLOT - OVERLAY fichier1.LOG fichier2.LOG

▷ **LOG** permet d'enregistrer toutes les caractéristiques électriques calculées par ATLAS dans un fichier de type « .log ». Suivant le régime (continu, alternatif ou transitoire), toutes les données générées par la commande SOLVE sont enregistrées dans ce fichier.

▷ **LOAD** charge des solutions antérieures qui vont ainsi servir comme valeur initiale pour trouver la solution d'autres points de polarisation.

▷ **SOLVE** permet d'ordonner à ATLAS de trouver une solution pour un ou plusieurs points de polarisation.

3.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons montré l'environnement de l'ATLAS tel que la spécification de structure, le maillage, Région et Spécification de modèles physiques. Cet outil permet donc l'optimisation, la calibration des simulateurs de procédés et de dispositifs, il permet de connaître l'influence de quelques paramètres sur l'évolution d'un grand nombre de composants semi-conducteurs en régime continu, en fonction de la température ou fréquence. . . .ect

Références

- [1] F. Bourouba, Modelisation et simulation des contacts metal-semiconducteur à barrière inhomogène, Thèse de doctorat, in : univ setif 2010.
- [2] A.U.s.M. SILVACO-TCAD, Silvaco International, California (2004).
- [3] M. Tang, Etudes et modélisation compacte du transistor FinFET, Thèse de doctorat, in : Strasbourg, 2009.
- [4] R. Negru, Conception et modélisation de pixels de photodétection : Photodiodes PIN en silicium amorphe en vue de leurs utilisations comme détecteurs de particules, Thèse de doctorat, in : Palaiseau, Ecole polytechnique, 2008.
- [5] M. MANCER, Simulation numérique des caractéristiques électriques d'une cellule solaire à double jonction en (AlGaAs/GaAs), Thèse de doctorat, in : Université Mohamed Khider-Biskra, 2012.

CHAPITRE 4

RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS

4.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présenterons et nous discuterons nos résultats de simulation des caractéristiques électriques statiques des transistors MESFETs GaAs pour différents paramètre comme L'influence des propriétés physiques (le dopage) et structurales (longueur de la grille, distance entre le drain et la source)

4.2 Interprétation des Résultats

4.3 Paramètres de simulation

Le logiciel de modélisation et la simulation sont faites en utilisant le TCAD (Technical computer Aided Design) Atlas Silvaco avec langage Matlab ,pour déterminer Les caractéristiques suivante :

- ▷ La vitesse et la mobilité des électrons en fonction du dopage et du champ électrique.
- ▷ L'effet de la loi de mobilité sur les caractéristiques I-V
- ▷ L'effet des paramètres géométriques et technologiques (L, a, Z, Nd) sur les caractéristiques I-V du transistor.
- ▷ L'effet des résistances parasites sur les caractéristiques du transistor.
- ▷ L'effet de la température sur la vitesse et la mobilité des électrons.
- ▷ L'effet de la température sur les caractéristiques I-V.
- ▷ Les capacités grille-source Cgs et grille-grain Cgd .
- ▷ La capacité totale de grille CgT. Le tableau [4.1] représente les Paramètres géométriques et technologiques des transistors utilisés pour simulation

TABLE 4.1 – Paramètres géométriques et technologiques des transistors)

Transistor	L (μm)	a (μm)	Z (μm)	Nd (cm^{-3})	μ_0 ($\text{cm}^2/\text{V.s}$)
MESFET	1	0.153	300	1.17E17	8000

Les paramètres utilisés pour simuler les caractéristiques électriques des dispositifs d'étude sont donnés dans le tableau

4.4 Les caractéristiques électriques du MESFET

4.4.1 Effet des résistances parasites sur les caractéristiques I-V

La figure 4.1 montre L'effet les variations du courant de drain en fonctions des tensions de polarisations avec et sans les résistances parasites. du transistor Al-GaAs/GaAs On voit clairement que l'effet de ces résistances ne peut pas être

TABLE 4.2 – Paramètres électroniques utilisés pour la simulation.)

	GaAs
N_C (cm ⁻³)	4.10^{17} [2]
N_V (cm ⁻³)	$1.3.10^{19}$ [2]
ϵ_r	12.8 [2]
χ (eV)	4.07 [3]
μ_n (cm ² /V.s)	8500 [3]
μ_p (cm ² /V.s)	400 [3]
E_g (eV)	1.42 [2]

négligé, et est d'autant plus important que le courant de drain « I_{ds} » est élevé, cet écart diminue lorsque la tension de grille « V_{gs} » augmente en valeur absolue. Ceci est dû au fait que l'effet essentiel des résistances parasites est la diminution du potentiel appliqué aux côtés de la zone active.

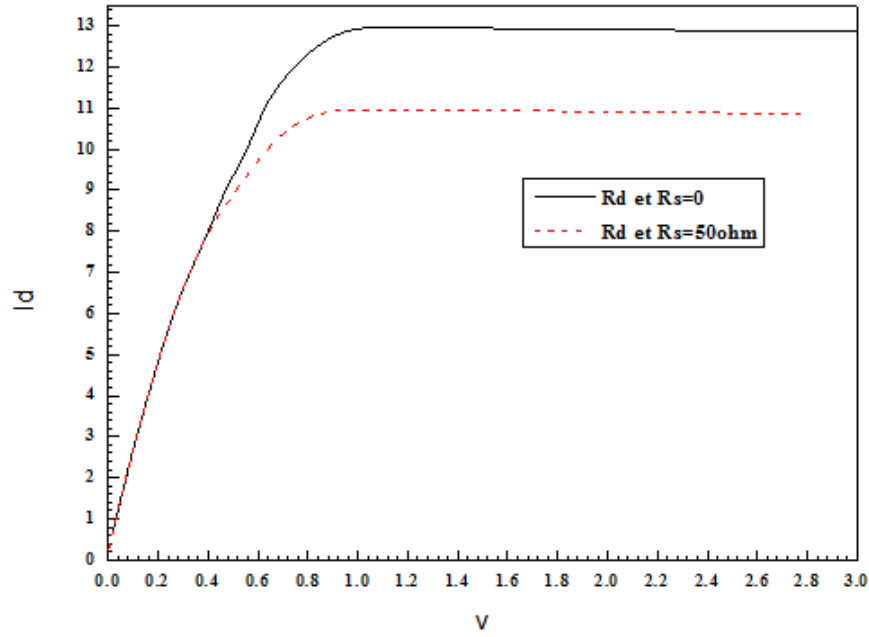


FIGURE 4.1 – Effet des résistances parasites sur la caractéristique (I_{ds} - V_{ds})

4.4.2 Caractéristiques capacité tension « C-V »

Sur la figure (4.2), nous avons présenté les variations de la capacité grille-source, qui est la somme de la capacité intrinsèque et la capacité latérale, en fonction de la tension de drain et de la tension de grille.

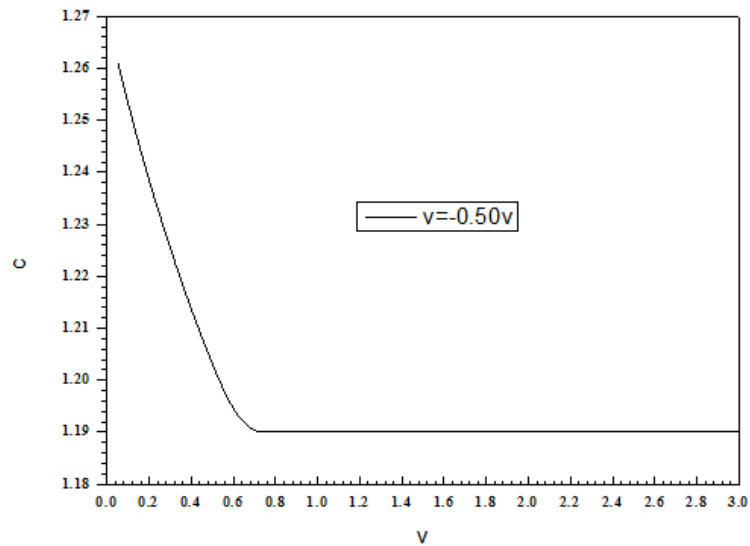


FIGURE 4.2 – le courant de drain en fonction de la tension Drain-Source pour différentes valeurs de dopage GaN

Sur les figure (4.2) nous remarquons d'une part la décroissance de « C_{gs} » avec la tension « V_{ds} » en régime linéaire, puis on note des variations faibles de cette capacité en régime de saturation et qui est principalement due à la croissance de la capacité latérale

4.4.3 Influence du dopage de canal « Nd »

La figure 4.3 montre les caractéristiques de le courant de drain en fonction du dopage du canal) de la transistor MESFET , à la température de 300 K

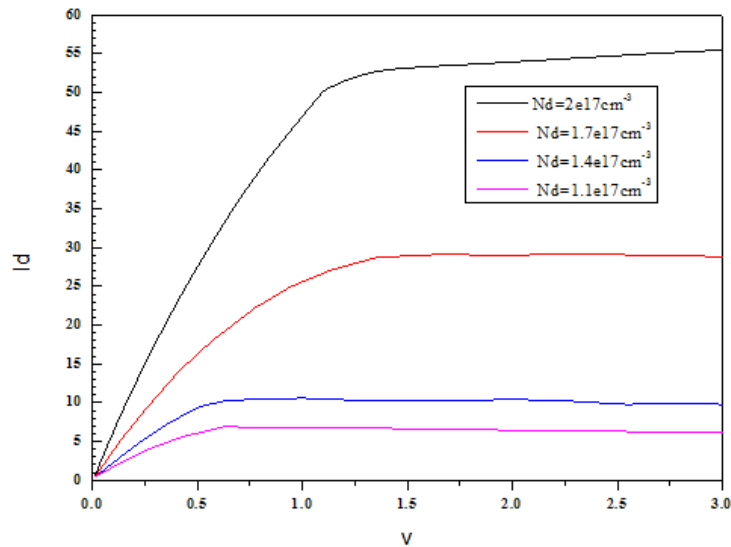


FIGURE 4.3 – Influence de la concentration du dopage du canal sur les caractéristiques $I_{ds}(V_{ds})$

nous remarquons que le courant I_{ds} augmente avec l'augmentation du dopage du canal. Le courant I_{ds} augmente lorsque la résistivité des semi-conducteurs diminue avec l'augmentation de la concentration des porteurs.

4.4.4 Variation de l'épaisseur de la couche active

La figure 4.4 représente l'influence de l'épaisseur de la couche active sur la caractéristique courant-tension (le courant de drain en fonction de la tension Drain-Source) de le transistors MESFET. Nous faisons varier l'épaisseur de la couche donneuse de $0.1 \mu\text{m}$ à $0.18 \mu\text{m}$.

on observe que le courant I_{ds} augmente avec l'augmentation de l'épaisseur du canal.

Il est bien connu que tant la densité des électrons dans canal est importante, la conduction est meilleure et par suite le courant $I_{ds\text{max}}$ est plus grand, mais ce n'est pas le cas toujours spécialement dans les hétérojonctions a nano-dimensions est cela est principalement due a l'phénomène de dispersion.

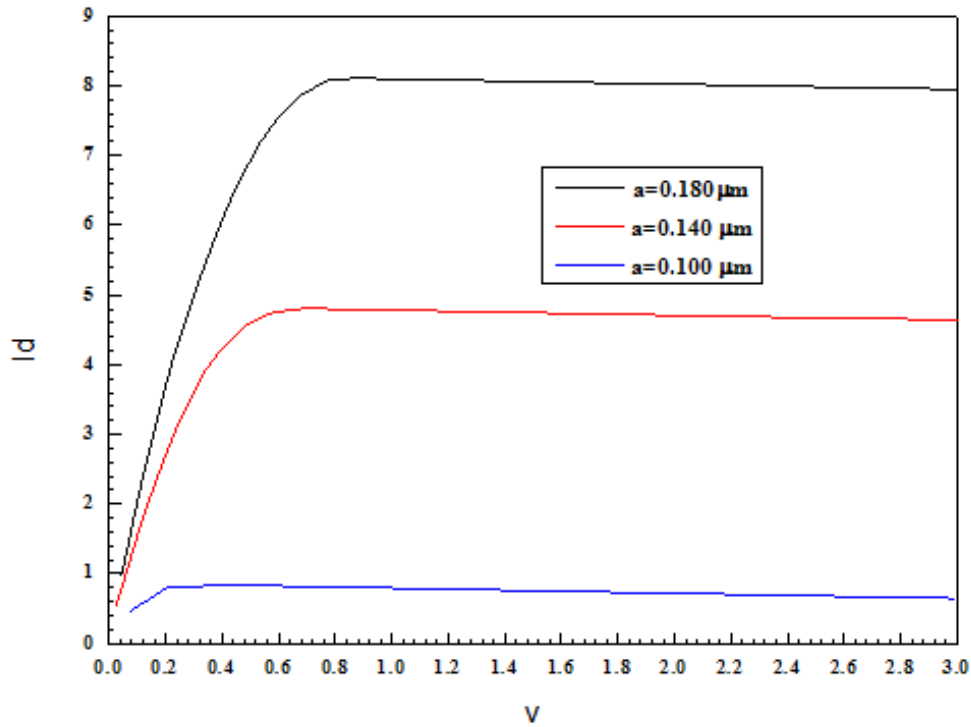


FIGURE 4.4 – le courant de drain en fonction de la tension Drain-Source, pour différentes épaisseurs de la couche active

4.4.5 Variation de la largeur du canal

La Figure 4.5 montre les résultats de la simulation le courant de drain en fonction de la tension Drain-Source en fonction de la longueur de grille L_g dans les transistors MESFET. Nous faisons varier la longueur entre 0.5 et 1.1.

On observe que le courant de saturation diminue avec l'augmentation de la longueur de grille. En effet, l'extension latérale de la zone de charge d'espace conduit à un allongement du canal conducteur tout en s'amincissant, ce qui limite le passage des électrons.

4.4.6 L'effet de la longueur de la grille (L_g) sur les caractéristiques du transistor MESFET

La Figure 4.5 montre les résultats de la simulation le courant de drain en fonction de la tension Drain-Source en fonction de la longueur de grille L_g dans les transistors MESFET. Nous faisons varier la longueur entre 0.5 et 1.1. On observe que le courant de saturation diminue avec l'augmentation de la longueur de grille. En effet, l'extension latérale de la zone de charge d'espace conduit à un allongement du canal conducteur tout en s'amincissant, ce qui limite le passage des électrons.

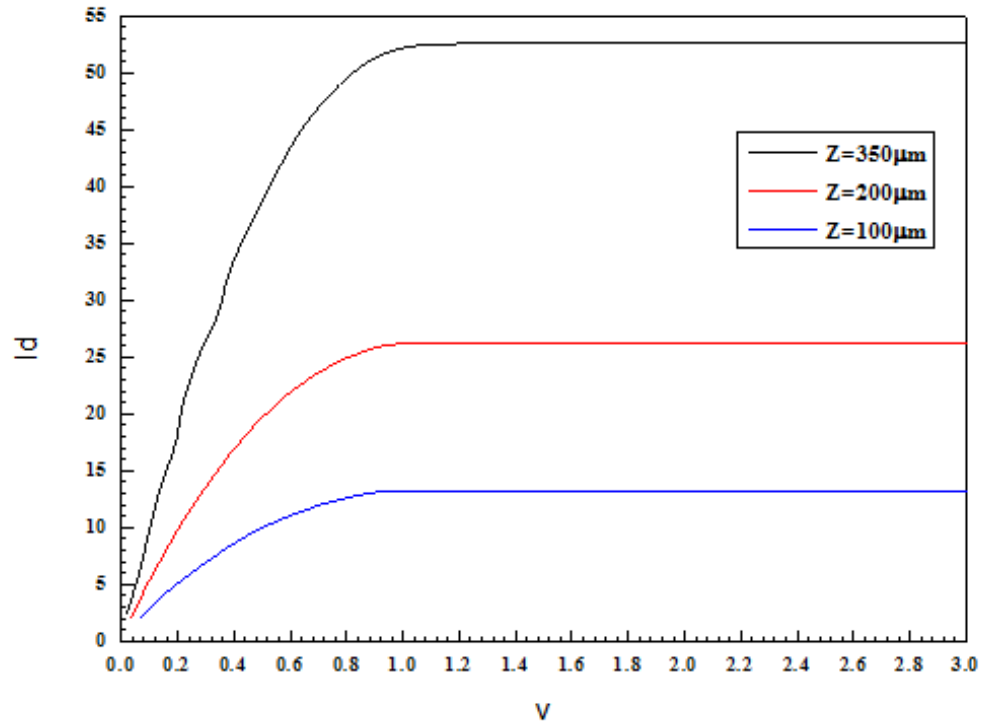


FIGURE 4.5 – Influence de la longueur de grille sur le courant de drain du transistor MESFET

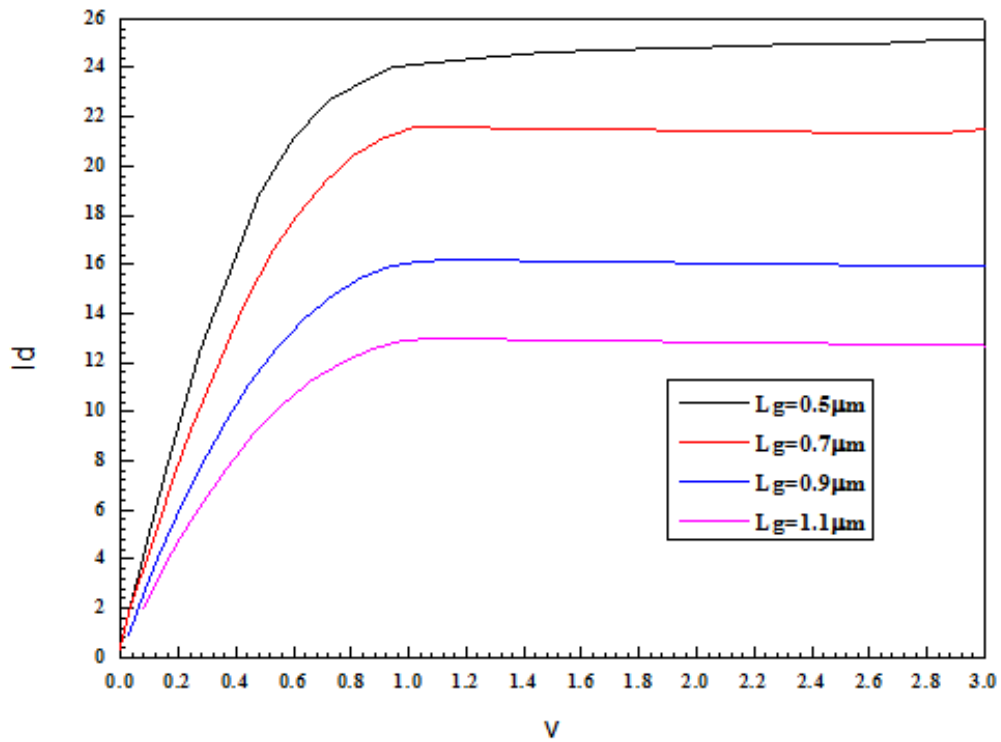


FIGURE 4.6 – Influence de la longueur de grille sur la caractéristique de courant-drain- tension-drain (I_{ds} - V_{ds}) du transistor MESFET

4.4.7 L'influence de la température

Les caractéristiques le courant de drain en fonction de la température pour différentes valeurs de température, sont présentées par les figures suivantes :

La conduction le long du canal étant due aux porteurs majoritaires, elle ne sera

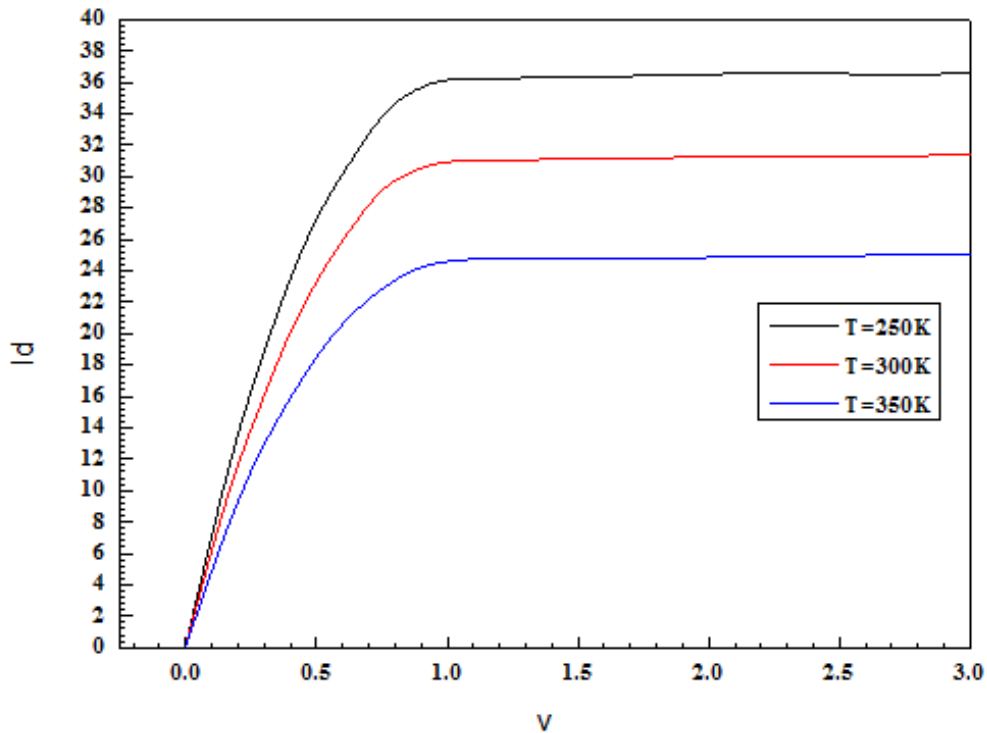


FIGURE 4.7 – L'influence de la température sur le courant de drain en fonction de la tension Drain-Source pour différentes valeurs de température

modifiée par la température que pour une variation de certains paramètres (mobilité des électrons, la hauteur de barrière Schottky, la vitesse de saturation, la constante diélectrique et même la résistance spécifique des contacts ohmiques).

Si la température croît, l'agitation thermique des porteurs croît, le nombre des porteurs croît également et par conséquent la mobilité des porteurs majoritaires du canal diminue), ce qui provoque une diminution du courant « I_{ds} ».

De même la hauteur de barrière de potentiel diminue quand la température augmente, donc la zone désertée se rétrécit, par contre la largeur du canal augmente et par conséquent le courant drain décroît.

La mobilité tend à augmenter lorsque la température diminue, ainsi la transconductance du transistor à la fréquence fondamentale décroît en fonction de la température. Nous constatons alors que les performances et la fiabilité d'un transistor sont fortement influencées par la température.

4.5 Conclusion

Ce dernier chapitre présente l'ensemble des résultats de simulation des caractéristiques statiques des transistors MESFETs GaAs. Au cours Nous avons calculé les différentes caractéristiques en fonction des grandeurs internes du dispositif : les épaisseurs et les dopages des différences couches

Références

T. Dewolf, Nano-caractérisation des mécanismes de commutation dans les mémoires résistives à base d'HfO₂, in : Université de Toulouse, Université Toulouse III-Paul Sabatier, 2018.

[2] V. W. L. Chin, T. L. Tansley, and T. Osotchan, Electron mobilities in gallium, indium, and aluminum nitrides, J. Appl. Phys. 75,(1994) 11.

[3] S. M. Sz Physics of Semiconductor Devices, 2nd ed. (Wiley, New York, 1981), 245. .

[4] G.D. Wilk, R.M. Wallace, J. Anthony, Journal of applied physics 89 (2001) 5243-5275.

[5] A. Shetty, B. Roul, S. Mukundan, L. Mohan, G. Chandan, K. Vinoy, S. Krupaniidhi, AIP Advances 5 (2015) 097103.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Le travail que nous venons de présenter est consacré à l'optimisation des caractéristiques du transistor MESFET GaAs .

Celle-ci nous a permis de simuler l'ensemble des propriétés statiques de ce composant, en prenant compte les effets des paramètres physiques et géométriques sur les caractéristiques courants-tensions du transistor.

Les conclusions obtenues sont :

▷ Le courant de saturation diminue avec l'augmentation de la longueur de grille. En effet, l'extension latérale de la zone de charge d'espace conduit à un allongement du canal conducteur tout en s'amincissant, ce qui limite le passage des électrons.

▷ le courant « I_{ds} » augmente lorsque l'épaisseur de la couche active augmente. Généralement dans les transistors MESFET , une diminution de l'épaisseur de la couche active entraîne une augmentation de la transconductance

▷ Le courant I_{ds} augmente avec l'augmentation de l'épaisseur du canal. L'augmentation de l'épaisseur du canal entraîne une diminution de la transconductance.

▷ l'évolution des caractéristiques I-V en fonction de la largeur du canal conducteur. le courant « I_{ds} » augmente avec l'augmentation de ce paramètre, qui entraîne une diminution de la transconductance. ▷ Le courant I_{ds} augmente avec l'augmentation du dopage du canal. Le courant I_{ds} augmente lorsque la résistivité des semi-conducteurs diminue avec l'augmentation de la concentration des porteurs.

Résumé

Durant cette dernière décennie, Les nitrures d'éléments III tels que le GaN, l'InN, l'AlN et BN, sont entrain de connaitre un essor considérable. L'intérêt croissant pour la construction des dispositifs électroniques à Semi-conducteur pour les applications dans les domaines de la micro, de la nano et de l'optoélectronique.

Ce travail a pour but de simuler numériquement l'influence des paramètres technologiques tel que longueur de grille, épaisseur et dopage du canal et l'effet des pièges accepteurs et donneurs présent dans le substrat sur les caractéristiques courant-tension en utilisant le simulateur Atlas Silvaco, Technical Computer Aided Design (TCAD). Les résultats ainsi obtenus sont en bon accord avec les résultats existant.

Mots clés : Semi-conducteurs ; GaAs ; Simulation ; transistors, SILVACO

Abstract

During the last decade, the nitrides of elements III such as GaN, InN, AlN and BN, are experiencing a considerable boom. The growing interest in the construction of semiconductor electronic devices for applications in the fields of micro, nano and optoelectronics. This work aims to simulate numerically the influence of technological parameters such as gate length, thickness and channel doping and the effect of donor and acceptor traps in the substrate on the current-voltage characteristics using Silvaco Atlas simulator, Technical Computer Aided Design (TCAD). Thus the results obtained are in good agreement with the existing results.

Keywords : semiconductors ; GaAs ; Simulation ;transistors, SILVACO