

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE LARBI BEN M'HIDI (OUM EL BOUAGHI)
FACULTE DES SCIENCES EXACTES ET S.N.V.
DEPARTEMENT SCIENCES DE LA MATIERE

N° d'ordre : M...../2023

MEMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master en physique appliquée
Option : compatibilité électromagnétique et physique des semi-conducteurs

ETUDE DU TRANSISTOR A EFFET DE CHAMP A GRILLE SCHOTTKY A L'ARSENIURE DE GALLIUM dit MESFET GaAs EN REGIME STATIQUE

Présenté Par : Sawsen BENYOUCEF

Khadija BECHOUA

Sous la

direction de : AZIZI CHERIFA

Soutenu le : 25 /06 /2023

Devant le jury de soutenance suivant :

Mr FARH Hichem, Professeur	Président	U.Oum-El-Bouaghi
Mme AZIZI Chérifa, Professeur	Rapporteur	U.Oum-El-Bouaghi
Mme KADDOUR Chahrazed, MCB	Examineur	U.Oum-El-Bouaghi



Remerciement

*Avant tout nous remercions ALLAH le
Tout-puissant de nous avoir donné le
courage, la volonté et la patience pour
réaliser ce travail.*

*Nous tenons à remercier en particulier MmeC. AZIZI,
Professeur au département sciences de la matière, Faculté des
Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie, Université
Larbi Ben M'Hidi d'Oum El Bouaghi pour avoir accepté de nous
encadrer ainsi que pour ses compétences scientifiques, ses conseils, sa
gentillesse et sa sympathie qui nous ont permis de mener à bien ce
travail.*

*Mes remerciements vont également à MrFARH Hichem,
Professeur au département sciences de la matière, Faculté des
Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie, Université
Larbi Ben M'Hidi d'Oum El Bouaghi, d'avoir accepté d'être président
du jury.*

*Nous tenons à remercier Mme KADDOUR Chahrazed, MCB,
au département sciences de la matière, Faculté des Sciences Exactes
et des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Larbi Ben
M'Hidi d'Oum El Bouaghi d'avoir accepté d'être membre du jury.*

*Enfin, nous remercions nos chers parents, et
nos familles qui nous ont toujours aidé et
encouragé pour poursuivre nos études.*

Dédicace

Je dédie cette thèse :

Ma petite princesse toumader

a maman ma vie et ma bonheur

A mon très cher père

A mes chers frères slimen et saber

A mes belles sœurs mamiahadjerkhawla

A TOUTE MA FAMILLE

A mon cher futur mari amine♥

Je veux le remercier pour tout ce qu'il a fait pour moi

*Et un grand dedicacea la plus belle femme du monde nourelhouda je t'aime
trop*

*A mes amies aya ,khwladalel, ghada , samara , Je ne peux trouver les
mots justes et sincères pour vous exprimer mon affection et mes pensées,
vous êtes pour moi des sœurs et des amies sur qui je peux compter. En
témoignage de l'amitié qui nous unit et des souvenirs de tous les moments
que nous avons passés ensemble, je vous dédie ce travail et je vous souhaite
une vie pleine de santé et de bonheur*

Par : Sawsen

Dédicace

Je dédie cette thèse :

Mon petit iyad

*a mamaneet papa ma vie et mon bonheur et mon vrai
amour*

A mes chers frères zinou et bilal

A mes belles sœurs salma.amira.hassna

A TOUTE MA FAMILLE

A mon cher mari lotfi♥

*A mes amies dalel, ghada ,chaïma , sawsen. Je ne peux
trouver les mots justes et sincères pour vous exprimer
mon affection et mes pensées, vous êtes pour moi des
sœurs et des amies sur qui je peux compter. En
témoignage de l'amitié qui nous unit et des souvenirs
de tous les moments que nous avons passés ensemble, je
vous dédie ce travail et je vous souhaite une vie pleine
de santé et de bonheur*

Par : Samara

RESUME

Le transistor à effet de champ à barrière Schottky à l'arséniure de gallium dit MESFET GaAs est un composant essentiel dans les dispositifs électroniques pour fabriquer les circuits intégrés. Sur cette base notre étude porte sur la simulation de ce composant en régime statique.

Nous présentons, tout d'abord, les différents transistors à effet de champ avec leurs structures et principes de fonctionnement JFET, MOSFET, MESFET et HEMT.

Nous présentons brièvement les propriétés du matériau semi-conducteur arséniure de gallium GaAs puis un modèle mathématique des propriétés statiques du transistor MESFET GaAs à barrière Schottky. Nous avons mis au point un logiciel en langage MATLAB version 7 basé sur les expressions analytiques. Les résultats concernant les caractéristiques courant-tensions du composant et l'influence des paramètres géométriques physiques et la température ont été obtenus et discutés. Ces résultats seront utilisés dans l'étude des circuits microonde et logique à base de MESFET GaAs.

Mots clés : MESFET, GaAs, caractéristiques statiques.

SUMMARY

The gallium arsenide Schottky barrier field effect transistor called MESFET GaAs is an essential component in electronic devices to manufacture integrated circuits. And On this basis. Our study is based on the research of the effect of transistor supports a Field effect based on gallium arsenate.

At the beginning we presented the family of different field effect transistors with their structure and operating principle and showed the advantages of MESFETs for use at high frequencies.

We present the properties of GaAs Schottky barrier MESFET transistor and its working principle. We have developed software in MATLAB language version 7 which allows us to do a numerical analysis to determine the drain current equations according to the gate and drain voltages.

This study helps us to know the physical and geometric parameters of the component to improve their performance and for the application of microwave power amplification

Key words: MESFET, Gallium Arsenide GaAs, Static Characteristics.

المخلص

يعتبر ترانزستور تأثير حقل شوتكي ذو تأثير الحقل الحاجز الغاليوم المعروف باسم MESFET GaAs مكوناً أساسياً في الأجهزة الإلكترونية لتصنيع الدوائر المتكاملة.. وعلى هذا الأساس.. تستند دراستنا إلى بحث عن تأثير الترانزستور يدعم التأثير الميداني على أساس الغاليومالزرنبيخات.

في البداية، قدمنا عائلة الترانزستورات ذات التأثير الميداني المختلفة مع هيكلها ومبدأ التشغيل وأظهرنا مزايا MESFETs للاستخدام في الترددات العالية.

نقدم خصائص الترانزستور MESFET الحاجز شوتكي GaAs ومبدأ عملها. لقد قمنا بتطوير برنامج بلغة MATLAB الإصدار 7 والذي يسمح لنا بإجراء تحليل رقمي لتحديد معادلات تيار التصريف كدالة للبوابة وجهود التصريف.

تساعدنا هذه الدراسة في معرفة المعلمات الفيزيائية والهندسية للمكون لتحسين أدائها ولتطبيق تضخيم طاقة الميكروويف.

الكلمات المفتاحية: المقحل، تيار الصرف، onde-micro، MESFET غاليومالزرنبيخ، توتر الصرف والبوابة.

LISTE DES FIGURES

Figure I.1: la famille des composants à effet de champ	4
Figure I.2: la structure du transistor JFET	5
Figure I.3 : JFET canal N.....	5
Figure I.4: structure schematique de base du transistor metal-oxyde-semi-conducteur (canal n).....	7
Figure I.5 : (a): Structure du MOS à enrichissement canal N, (b) : Structure du MOS à appauvrissement canal N	8
Figure I.6: principe de fonctionnement du transistor MOS :.....	9
Figure I.7: Vue en coupe d'un MESFET GaAs.....	10
Figure I.8: Structure de principe d'un HEMT classique associée à son diagramme de bande d'énergie.....	12
Figure II.1: tableau periodique partiel.....	15
Figure II.2: Structure Cristalline du GaAs.....	17
Figure II.3: MESFET à canal long.....	19
Figure II.4: zone active du transistor MESFET.....	21
Figure III.1: organigramme de calcul des caracteristiques i-v.....	30
Figure III.2 : Caractéristiques I-V pour différentes valeurs de V_G pour le MESFET 1	31
Figure III.3 : Caractéristiques I-V pour différentes valeurs de V_G pour le MESFET 2	32
Figure III.4 :Caractéristiques I-V pour différentes valeurs de L pour le MESFET 1	34
Figure III.5 :Variations de la caractéristique I-V pour différentes valeurs de la largeur de grille Z	34
Figure III.6 : Variations de la caractéristique I-V pour différentes valeurs de l'épaisseur de la couche active a	35
Figure III.7 : Variations de la caractéristique I-V pour différentes valeurs du dopage ND de la couche active.....	36
Figure III.8 : Variations de la caractéristique I-V pour différentes valeurs de la mobilité pour le MESFET 1	37
Figure III.9 : Variations de la caractéristique I-V pour différentes valeurs de la mobilité pour le MESFET 2	37
Figure III.10 : Variations de la mobilité des électrons en fonction du champ électrique pour le MESFET 1	38
Figure III.11 :Variations de la mobilité des électrons en fonction du champ électrique pour le MESFET 2.....	39

<i>Figure III.12 :Variation de la vitesse des électrons en fonction du champ électrique pour le MESFET1</i>	<i>40</i>
<i>Figure III.13 :Figure III- 13 Caractéristiques I-V en fonction de la température pour les composants d'étude.....</i>	<i>41</i>
<i>Figure III.14 : Variation de la mobilité en fonction de la température.....</i>	<i>41</i>
<i>Figure III.15: Variations de la vitesse en fonction de la température</i>	<i>42</i>

LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau II.1: proprietes des principaux composes binaires iii-v a 300 k.</i>	<i>16</i>
<i>Tableau II. 2 : proprietes physiques et electroniques du gaas</i>	<i>17</i>
<i>Tableau III.1 : paramètresdeMESFET 1 etMESFET 2</i>	<i>31</i>

LISTE DES ABREVIATIONS

TEC : transistor à effet de champ

FET: Field effect transistor

JFET: Junction Field Effect Transistor

MOSFET: Metal Oxyde Semi-Conductor Field Effect Transistor

MESFET: Metal Semi-Conductor Field Effect Transistor

HF: hautes fréquences

IGFET:insulatedgate FET

ZCE : zone de charge d'espace

SOMMAIRE

REMERCIEMENT

DEDICACE

DEDICACE

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES ABREVIATIONS

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE 1

CHAPITRE I : ETAT DE L'ART DES TRANSISTORS A EFFET DE CHAMP

I. INTRODUCTION..... 3

II. LES TRANSISTORS A EFFETS DE CHAMP 3

II.1. HISTORIQUE ET GÉNÉRALITÉ 3

II.2. TRANSISTORS à JONCTION (JFET)..... 4

II.2.1. DEFINITION 4

II.2.2. HISTORIQUE..... 4

II.2.3. STRUCTURE ET PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT [9]..... 4

II.2.4. LES DOMAINES D'UTILISATION [10]..... 6

II.3. TRANSISTOR A EFFET DE CHAMP A GRILLE ISOLEE (MOSFET) 6

II.3.1 DEFINITION 6

II.3.2 HISTORIQUE..... 6

II.3.3. STRUCTURE ET PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT [12] 7

II.3.4. LES DOMAINES D'UTILISATION..... 9

II.4. TRANSISTOR A EFFET DE CHAMP A GRILLE SCHOTTKY (MESFET) 9

II.4.1. DEFINITION 9

II.4.2. HISTORIQUE..... 10

II.4.3. STRUCTURE [15] 10

II.4.4 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT[15]..... 11

II.4.6. UTILISATION [16].....	11
II.5. LE TRANSISTOR HEMT.....	12
II.5.1 DEFINITION	12
II.5.2. HISTORIQUE.....	12
II.5.3. Structure [18].....	12
II.5.4. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT	13
II.5.5. LES DOMAINES D'UTILISATION.....	13
III. CONCLUSION.....	14

CHAPITRE II : PROPRIETES STATIQUES DU MESFET GaAs

I. INTRODUCTION.....	15
II. GENERALITE SUR LES MATERIAUX III-V.....	15
III. PROPRIETES PHYSIQUES ET ELECTRONIQUE DU MATERIAU GaAs.....	16
IV. STRUCTURE CRISTALLINE DU MATERIAU GaAs[21].....	17
V. AVANTAGES ET INCONVENIENTS DU MATERIAU GaAs	18
VI. DIFFERENTS TYPES DE MESFET GaAs.....	18
VI.1. MESFET A CANAL LONG	18
VI.2. MESFET A CANAL COURT.....	19
VII. LES PARAMETRES STATIQUES DU MESFET GAAS	19
VII.1. EXPRESSIONS ANALYTIQUES DU MESFET	19
VII.2. ÉQUATIONS FONCTIONNELLES DU MESFET	20
VII.3. CALCUL DU POTENTIEL ET DU CHAMP ELECTRIQUE DANS LA ZONE ACTIVE	21
VII.4. DETERMINATION DE COURANT DE DRAIN DANS LE CANAL	24
VIII. EFFET DES PARAMÈTRES GEOMETRIQUES.....	26
VIII.1. EFFET DE LA LOI DE MOBILITE.....	26
VIII.2. EFFET DE LA DENSITE DE DONNEUR.....	27
VIII.3. EFFET DE LA TEMPÉRATURE	28
IX. CONCLUSION.....	28

CHAPITRE III : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

I. INTRODUCTION.....	29
II. LOGICIEL DE SIMULATION	29
III. RESULTATS ET DISCUSSIONS	29
III.1. CARACTERISTIQUES COURANT TENSION I-V.....	29
III. 2. DISCUSSION	33
III.3. EFFETS DES PARAMETRES PHYSIQUES ET GEOMETRIQUES	33
III.3.1. INFLUENCE DE LA LONGUEUR DE GRILLE L	33
III.3.2. INFLUENCE DE LA LARGEUR DE LA GRILLE Z.....	34
III.3.3. INFLUENCE DE L'EPAISSEUR DE LA COUCHE ACTIVE a.....	35
III.3.4. INFLUENCE DU DOPAGE ND DE LA COUCHE ACTIVE	35
III.3.5. INFLUENCE DE LA MOBILITE DES PORTEURS	36
III.3.6. MOBILITE DES PORTEURS EN FONCTION DU CHAMP ELECTRIQUE.....	38
III.3.7. VITESSE DES PORTEURS EN FONCTION DU CHAMP ELECTRIQUE.....	39
III-4 EFFET DE LA TEMPERATURE	40
IV. CONCLUSION.....	42
CONCLUSION GENERALE	43
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	



***Introduction
Générale***

INTRODUCTION GENERALE

Au cours des dernières décennies le développement de l'électronique hyperfréquence a connu un essor considérable dans les applications axées sur les communications publiques (le téléphone mobile, les radios, les télévisions, etc.). L'importance des transferts de données et l'acquisition d'une grande quantité d'informations ont conduit à la réflexion sur de nouveaux systèmes de transmission [1]. D'où le développement des modèles pour différents éléments électroniques qui ne cessent de se multiplier et qui connaissent une évolution rapide grâce à la maîtrise des techniques microondes. Au niveau des composants ces évolutions ont orienté les recherches vers de nouveaux choix technologiques ayant une montée en fréquence élevée et autorisant des densités de puissance plus importantes.

Ainsi la conception et la simulation des circuits intégrés microonde ont été basées sur l'utilisation du transistor à effet de champ à grille Schottky à l'arséniure de gallium dit MESFET GaAs. Grâce à aux propriétés du matériau arséniure de gallium notamment une forte mobilité des électrons, ce semi-conducteur permet la réalisation de circuits actifs fonctionnant à des fréquences très élevées. L'industrie des technologies hyperfréquences se focalise alors sur le transistor MESFET (MetalSemi Conducteur Field Effect Transistor). Depuis de nombreuses années, et jusqu'à de nos jours, l'arséniure de gallium (GaAs) reste le semi-conducteur le plus utilisé dans la fabrication des MESFET.

Le transistor à effet de champ à grille Schottky à l'arséniure de gallium « MESFET GaAs » a été proposé pour la première fois par MEAD en 1966 [2], et réalisé par HOOPER et LEHERER en 1967 [3]. en utilisant la barrière de potentiel du contact Schottky comme étant la grille, pour moduler la conductivité du canal semi-conducteur, entre deux contacts ohmiques qui jouaient le rôle de la source et du drain. Ce composé fabriqué à base d'arséniure de gallium a ouvert la voie devant les semi-conducteurs de la catégorie III-V et à différentes applications pour l'électronique à très grandes vitesses [4]., qui sont des composants actifs utilisés pour la fabrication des circuits intégrés fonctionnels dans le domaine des hautes fréquences.

Le but de notre mémoire est de faire une étude sur le transistor MESFET GaAs à canal N afin de simuler les propriétés de ce composant en régime statique et de déterminer l'influence des paramètres géométriques et physiques sur les performances du transistor à effet de champ à grille Schottky.

Ce travail se comporte trois chapitres :

Le premier chapitre est consacré à un état de l'art des principaux composants à effet de champ. Une attention particulière est consacrée au transistor à effet de champ à grille Schottky à l'arséniure de gallium qui est notre composant d'étude

Le deuxième chapitre est consacré à l'étude analytique du transistor MESFET GaAs. Les effets des paramètres physiques et géométriques du composant qui influencent les caractéristiques de sortie sont pris en considération. Ce modèle est basé sur la résolution de l'équation de Poisson et des équations de continuité du courant qui régissent les phénomènes de transport de charges à l'intérieur du transistor.

Dans le dernier chapitre et à l'aide d'un logiciel que nous avons élaboré nous présentons les résultats de la simulation des caractéristiques statiques des transistors MESFET GaAs de longueurs de grille différentes. Au cours de cette présentation, l'interprétation des résultats obtenus est effectuée, Ceci nous a permis de mettre en évidence l'influence des divers paramètres sur le comportement du MESFET afin d'optimiser ses caractéristiques pour de meilleures performances fréquentielles.



Chapitre I :

***Etat de l'art des
transistors à effet de
champ***

CHAPITRE I : ETAT DE L'ART DES TRANSISTORS A EFFET DE CHAMP

I. INTRODUCTION

Dans ce premier chapitre nous présentons une description brève des principaux éléments des transistors à effet de champ en précisant les différentes familles – JFET, MESFET, MOSFET et HEMT -. Nous précisons le dispositif, sa structure ainsi que son principe de fonctionnement dans les régions linéaire et saturée ainsi que les propriétés physiques et électriques de l'arséniure de gallium.

II. LES TRANSISTORS A EFFETS DE CHAMP

II.1. HISTORIQUE ET GÉNÉRALITÉ

En 1952 après l'invention du transistor à jonction W. Shockley a présenté théoriquement le transistor à effet de champ dénommé TEC ou FET (Field effect transistor en anglais) [5].

Le transistor à effet de champ est un dispositif «unipolaire» qui fonctionne avec un seul type de charges mobiles, les trous ou les électrons selon son type (canal N ou canal P). Ce transistor se compose de trois broches : la Grille, le Drain et la Source. Il se présente comme une résistance variable commandée par une tension extérieure, il a une très forte impédance d'entrée par rapport au transistor bipolaire. Il utilise une tension sur la borne d'entrée du transistor, appelée la grille afin de contrôler le courant qui le traverse. Un transistor à effet de champ à jonction se nomme TEC (Transistor à Effet de Champ) ou JFET en version anglaise (Junction Field Effect Transistor).

Le transistor à effet de champ regroupe les principaux types de transistors :

- Le TEC à jonction (JFET)
- Le TEC à grille isolée (IGFET : Insulated Gate Field Effect Transistor) qui est plus connu sous le nom de MOSFET : Metal Oxyde Semiconductor Field Effect Transistor
- Le MESFET qui est un transistor à effet de champ à grille Schottky (Metal Semiconductor Field Effect Transistor).
- Le HEMT qui est un transistor à effet de champ à hétérojonction, dérivé du MESFET GaAs, à électrons à haute mobilité.

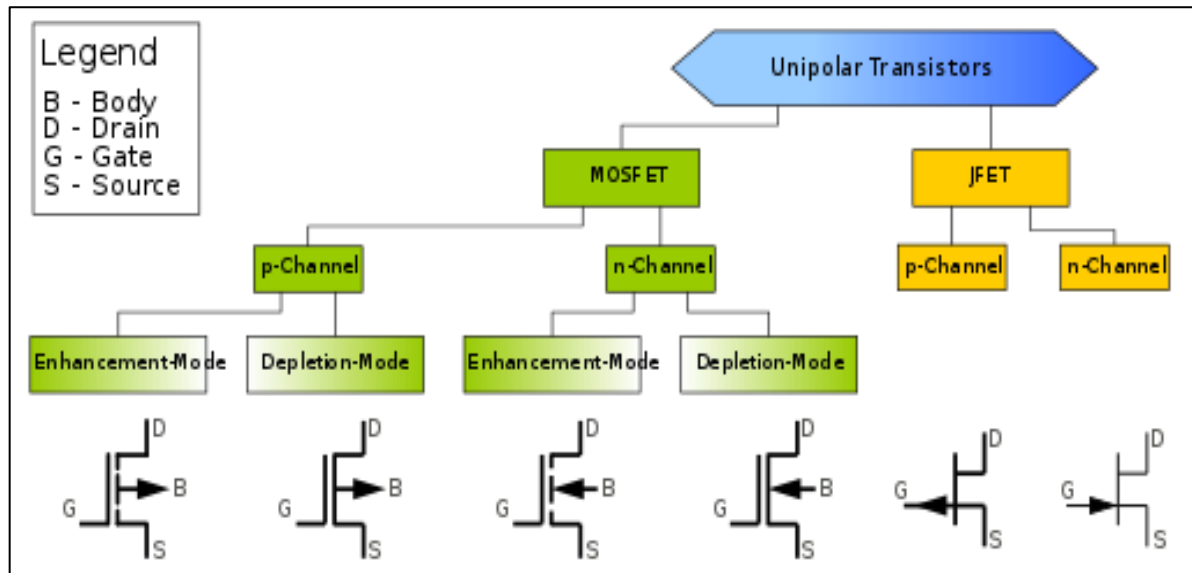


Figure I.1: la famille des composants à effet de champ [6]

II.2. TRANSISTORS à JONCTION (JFET)

II.2.1. DEFINITION

JFET ou Junction Field Effect Transistor est l'un des types les plus simples de transistor à effet de champ. Contrairement au transistor bipolaire à jonction, les JFET sont des dispositifs commandés en tension. Dans JFET, le flux de courant est dû à la majorité des porteurs de charge. Cependant, dans les BJT, le flux de courant est dû à la fois aux porteurs de charge minoritaires et majoritaires. Étant donné que seule la majorité des porteurs de charge sont responsables du flux de courant, les JFET sont unidirectionnels.

II.2.2. HISTORIQUE

Le transistor à effet de champ à jonction (JFET) a été proposé, la première fois, par Jules Lilienfeld qui est un physicien austro-hongrois, Et En 1948 ce composant est inventé et réalisé par Les Américains John Bardeen, William Shockley et Walter Brattain, chercheurs des Laboratoires Bell, et après des années Herbert Mataré crée l'entreprise Intermentale, la première entreprise à produire des transistors . Du côté du composant électronique, des scientifiques de l'Université de Technologie de Vienne ont conçu un transistor qui pourrait aider les appareils à fonctionner en parfaite harmonie avec l'intelligence artificielle IA[7] [8]

II.2.3. STRUTURE ET PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT [9]

Le transistor JFET (Junction Field Effect Transistor) est un composant de structure plane. Il est constitué d'un long canal de matériau semi-conducteur. Des contacts ohmiques sont prévus à chaque extrémité des canaux semi-conducteurs pour former des connexions de

source et de drain. Un JFET de type P contient de nombreuses charges positives, et si le JFET contient un grand nombre d'électrons, on l'appelle un JFET de type N

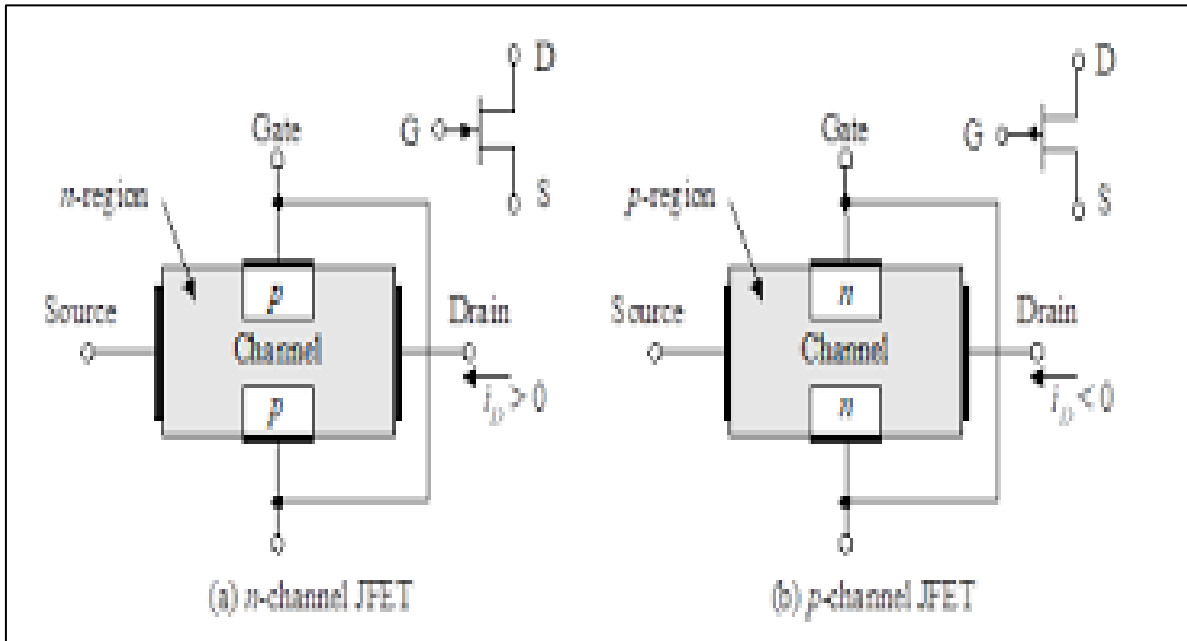


Figure 1.2: la structure du transistor JFET

Pour un JFET à canal de type N :

On applique une tension $V_{gs} < 0$ sur la grille qui entraîne une augmentation de l'extension de la zone de charge d'espace réduisant ainsi la section du canal conducteur et augmentant la résistance de celui-ci.

On applique Une tension $V_{ds} > 0$ sur le drain qui a pour effet d'accroître la polarisation en inverse de la jonction PN et par conséquent d'augmenter l'extension des zones de charge d'espace au voisinage du drain

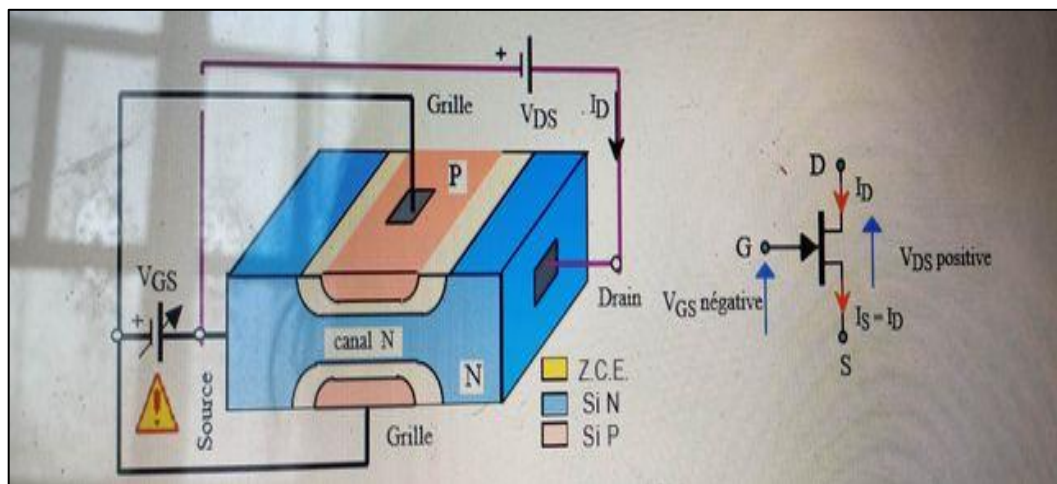


Figure 1.3 : JFET canal N

II.2.4. LES DOMAINES D'UTILISATION [10]

- Le JFET est utilisé comme interrupteur, tampon ou un amplificateur.
- Il peut être utilisé dans l'électronique numérique et circuits à raison de son applicabilité, d'autre part il présente certains avantages, comme un dispositif à faible consommation d'énergie et une impédance élevée
- Les JFET peuvent être fabriqués dans une taille plus petite et, par conséquent, ils occupent moins d'espace dans les circuits à raison de leur petite taille.

II.3. TRANSISTOR A EFFET DE CHAMP A GRILLE ISOLEE (MOSFET)

II.43.1 DEFINITION

Le transistor à effet de champ métal-oxyde semi-conducteur (MOSFET) est le type le plus courant de transistor à effet de champ (FET). Ils agissent comme des commutateurs électriques et des amplificateurs contrôlant la quantité d'électricité qui peut circuler entre les bornes de source et de drain en fonction de la tension appliquée à la borne de grille. Il est à la base de la fabrication de tous les circuits intégrés CMOS (MOS complémentaires), grâce à une géométrie simple et une consommation très faible.

Les MOSFET sont divisés en deux catégories, les MOSFET à déplétion (déplétion mode) et les MOSFET à inversion (enhancement mode) selon leur mode d'opération. Chaque MOSFET est aussi caractérisé par la polarité de ses porteurs de charges qui détermine s'il est de type N ou P.

II.3.2 HISTORIQUE

Les notions du transistor MOS (MetalOxideSemiconductor) ont été brevetées par Lilienfeld et Heil en 1930. En décembre 1947, John Bardeen et Walter H. Brattain réalisaient le premier transistor en germanium. Et en 1960 Kahng et Attala ont présenté le premier transistor MOS sur Silicium qui reste aujourd'hui le semi-conducteur généralement le plus utilisé.

L'avancée ne s'arrête pas là, puisqu'en 1963 Frank Wanlass invente la configuration logique et faible en consommation MOS complémentaire (CMOS) qui bouleverse l'industrie électronique

En 1965 Gordon Moore présente sa théorie sur l'évolution de la densité des transistors dans les circuits intégrés, il prédit que le nombre de transistor par puce doublera tout les deux ans, ce qui devint la « loi de Moore », loi régissant la feuille de route (roadmap) et la ligne

d'objectifs, et qui fut très bien suivi par l'industrie semi-conducteur tout au long des quarante dernières années [11]

Jusqu'à récemment, la mise en échelle des transistors a généralement suivi des règles de conception simples mais strictes avec de légères modifications.

II.3.3. STRUCTURE ET PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT [12]

Le MOSFET (Transistor à Effet de Champ (à grille) Métal-Oxyde) a deux types fondamentaux : les MOSFET à appauvrissement D-MOSFET, et les MOSFET à enrichissement E-MOSFET. Dans chaque type de MOSFET, on peut distinguer le MOSFET canal N (le courant provient du déplacement d'électrons) et le MOSFET canal P (le courant provient du déplacement des trous). la structure se décompose en trois électrodes principales : contacts de source (S), de drain (D) et de grille (G), auxquelles sont associées trois polarisations indépendantes (V_s , V_D , et V_G , respectivement). le MOSFET module le courant qui le traverse à l'aide d'un signal appliqué à son électrode d'entrée ou grille.

Le schéma simplifié du transistor de type n est représenté sur la Figure suivante :

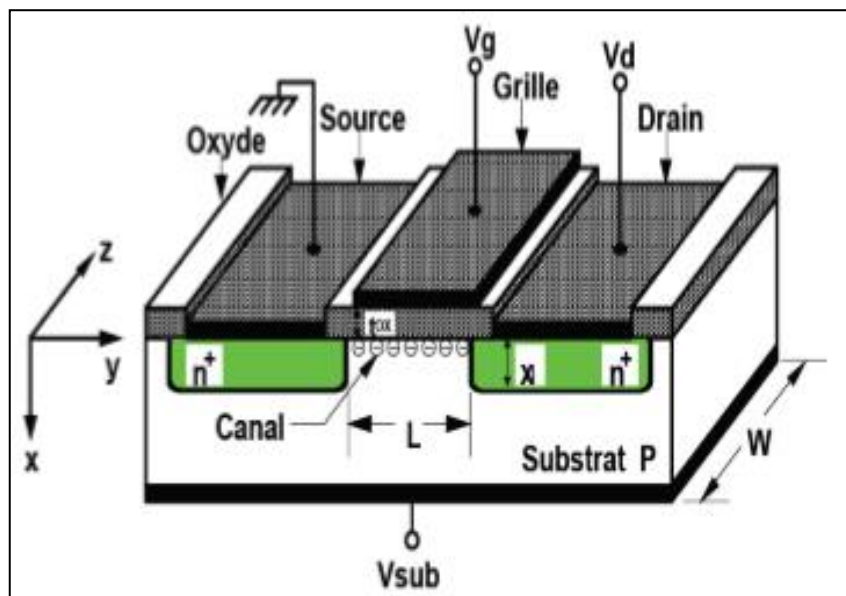


Figure I.4: structure schématique de base du transistor metal-oxyde-semi-conducteur (canal n)

Le MOSFET à canal N a une région à canal N située entre les bornes de source et de drain. Dans ce type de transistor à effet de champ, le drain et la source sont fortement dopés dans la région n+ et le substrat ou le corps est de type P. Le flux de courant dans ce type de MOSFET se produit à cause d'électrons chargés négativement. Lorsque nous appliquons la

tension positive avec une force répulsive à la borne de grille, les trous présents sous la couche d'oxyde sont poussés vers le bas dans le substrat. La région d'appauvrissement est peuplée par les charges négatives liées qui sont associées aux atomes accepteurs.

À la portée des électrons, le canal se forme. La tension positive attire également les électrons des régions de source et de drain n+ dans le canal. Maintenant, si une tension est appliquée entre le drain et la source, le courant circule librement entre la source et le drain et la tension de grille contrôle les électrons dans le canal. Au lieu d'une tension positive si nous appliquons une tension négative, un canal de trou sera formé sous la couche d'oxyde

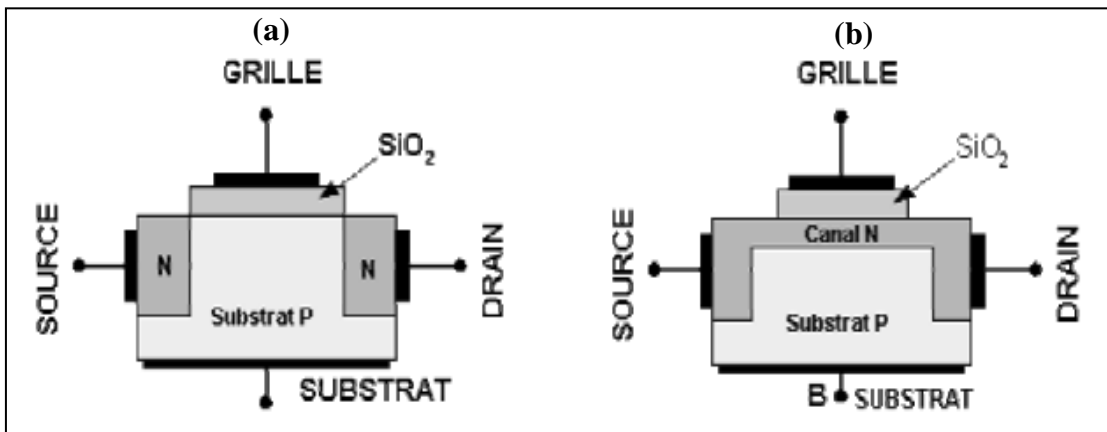


Figure I.5 : (a) : Structure du MOS à enrichissement canal N, (b) : Structure du MOS à appauvrissement canal N [12]

Le principe de fonctionnement d'un MOSFET repose sur l'effet de champ, qui consiste à moduler de façon électrostatique une densité de charges mobiles dans un semi-conducteur. La modulation est provoquée par un champ électrique perpendiculaire à la direction du mouvement de ces charges.

- Si la tension de grille $V_g < V_T$ (V_T tension de seuil) le champ électrique ne peut pas former un canal de conduction et l'existence d'une barrière de potentiel entre source et substrat ne laisse pas les électrons passer de la source vers le drain donc le courant s'annule.
- si la grille est polarisée positivement elle crée à l'interface diélectrique semi-conducteur une couche dite d'inversion comportant un grand nombre d'électrons (porteurs minoritaires de la zone du substrat) et dès que cette tension est supérieure à V_T cette couche est suffisamment importante pour créer un canal conducteur entre les deux zones N+.

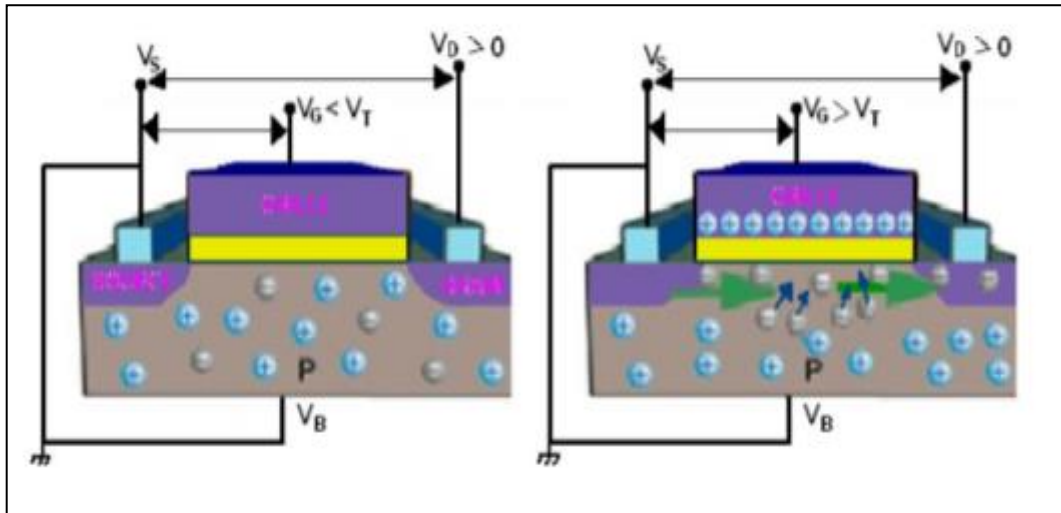


Figure I.6: principe de fonctionnement du transistor MOS :

1- pour $V_G < V_T$ transistor bloqué

2-pour $V_G > V_T$ transistor conducteur

II.3.4. LES DOMAINES D'UTILISATION

- Les MOSFET sont utilisés dans le cas des applications de commande de moteur
- Le MOSFET peut aussi être utilisé comme point mémoire (on bit) pour stocker et lire les informations forme binaire (0.1)
- Le transistor MOSFET peut être utilisé comme commutateur
- Utilisés dans les applications de fréquence étendues La régulation des moteurs à courant continu est assurée par ces appareils Comme ceux-ci ont des vitesses de commutation améliorées,

II.4. TRANSISTOR A EFFET DE CHAMP A GRILLE SCHOTTKY (MESFET)

II.4.1.DEFINITION

Les transistors MESFET GaAs sont des composants très importants et jouent un rôle prépondérant dans la technologie de fabrication des circuits intégrés logiques et analogiques pouvant fonctionner à des fréquences très élevées pour une longueur de grille micronique ou submicronique.

Le MESFET (Transistor à Effet de Champ Métal-Semi-conducteur):est un dispositif semi-conducteur à effet de champ avec une technologie Schottky (métal-semi-conducteur) pour l'électrode de grille.

Il existe deux types de MESFET à canal P et à canal N ; mais les canaux N sont plus utilisés que les canaux P. En effet, la mobilité des électrons est environ 20 fois supérieure à la

mobilité des trous pour le matériau GaAs, le canal conducteur est toujours de type N pour les transistors. micro-ondes.

II.4.2. HISTORIQUE

Le transistor à effet de champ à grille Schottky à l'arséniure de gallium (MESFET GaAs) a été proposé par CA Mead en 1966 [13], et en 1967 Hooper a fabriqué un MESFET avec une couche épitaxiale d'arséniure de gallium GaAs, [14]. Les premiers résultats obtenus avec un MESFET au carbure de silicium (4H-SiC) datent de 1994.

II.4.3. STRUCTURE [15]

Le matériau de base sur lequel le transistor est fabriqué est un substrat semi-isolant monocristallin en GaAs compensé au chrome Cr et qui doit être le moins conducteur possible de quelques centaines de micron. Une couche tampon faiblement dopée est développée par épitaxie sur le substrat GaAs pour isoler les défauts du substrat du transistor de la couche active ; son épaisseur est de quelques microns. La couche active est une fine couche conductrice dopée N de matériau semi-conducteur d'arséniure de gallium, elle est insérée soit par épitaxie, soit par implantation ionique sur la couche tampon. Sur les deux côtés du canal deux zones fortement dopées N⁺ sont rajoutées à la structure par une nouvelle implantation ou par diffusion. Elles permettent de réduire les résistances de contact. Ensuite, on réalise trois électrodes : deux contacts ohmiques, relatifs à la source et le drain, séparés par un contact Schottky de la grille. La structure du transistor MESFET GaAs est représentée sur la figure I-5.

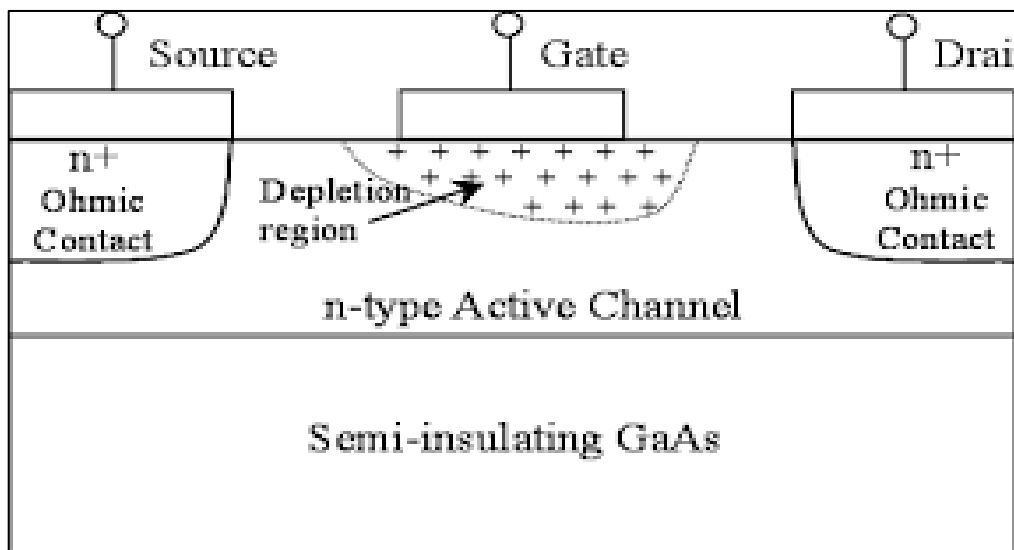


Figure I.7: Vue en coupe d'un MESFET GaAs [1]

L'épaisseur de la couche active en GaAs type-N est de 0.2 à 0.3 μm avec une densité de dopants de 2.10^{17}cm^{-3} . Le substrat semi isolant de GaAs est de grande résistivité ($\rho \geq$

107 Ω cm). En plus, pour réduire les résistances des contacts ohmiques de drain et de source, un sur-dopage type N⁺, d'épaisseur de 0.1 μ m et de densité 2.1018cm⁻³, est souvent réalisé sous ces contacts [7].

II.4.4 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT[15]

Le principe de fonctionnement est basé sur la possibilité de moduler l'épaisseur de la couche active sous la grille. La jonction métal semi-conducteur entre l'électrode de grille et le canal N forme une diode de type Schottky. Lorsque la grille et le semi-conducteur de type N sont en contact il y a la formation d'une zone désertée dépeuplée de porteurs libres dans le canal sous la grille appelée zone de charge d'espace (ZCE). Donc la concentration des électrons mobiles est maximale dans la fraction restante de la couche conductrice (canal conducteur).

En régime de fonctionnement normal, le drain est polarisé positivement par rapport à la source et la grille négativement.

Une tension appliquée entre les contacts ohmiques de source et de drain fait circuler un courant d'électrons parallèlement à la surface du semi-conducteur pour un composant de type N.

Le contrôle du canal est obtenu en faisant varier la largeur de la couche de déplétion sous le contact métallique qui module l'épaisseur du canal et ainsi le courant. On remarque que le canal conducteur est formé entre les électrodes de drain et de source avec une zone de déplétion sous l'électrode de grille. Notons que la largeur de la zone de charge d'espace, de type déplétion, est contrôlée par la tension de polarisation de la grille.

II.4.6. UTILISATION [16]

Les MESFET GaAs sont des dispositifs attrayants pour les applications micro-ondes. Sur la gamme de fréquence de 1-30GHz en raison de leur traitement simple et leurs performances à haute vitesse et à faible bruit sont utilisés comme éléments discrets. Ils peuvent être utilisés comme amplificateurs de petit signal et de puissance, oscillateurs, commutateurs mélangeurs, atténuateurs et dans les circuits numériques comme dispositif actif fondamental.

II.5. LE TRANSISTOR HEMT

II.5.1 DEFINITION

Le transistor HEMT (High Electron Mobility Transistor) est un type de transistor à effet de champ à semi-conducteur qui utilise une hétérojonction de semi-conducteurs pour contrôler le courant. Il est également connu sous le nom de transistor MESFET à hétérojonction ou de transistor HFET (Heterojunction Field-Effect Transistor). il est caractérisé par un bruit très faible et une amplification élevée, ils sont utilisés dans les circuits intégrés comme interrupteur numérique.

II.5.2. HISTORIQUE

Le développement du transistor HEMT a commencé dans les années 1980[17]., en 1984 les chercheurs de la société américaine RCA ont introduit la première version commerciale du HEMT et En 1985 le HEMT est présenté comme un composant micro-onde unique ayant les plus faibles caractéristiques en bruit au monde.

Aujourd'hui, le HEMT est considéré comme une technologie mature et est utilisé dans de nombreuses applications à haute fréquence.

II.5.3. Structure [18]

La structure de base d'un HEMT se compose d'une fine couche de matériau semi-conducteur appelée canal, intercalée entre deux couches de matériau semi-conducteur fortement dopé appelées régions source et drain. Le canal est généralement composé d'un matériau semi-conducteur de type composé tel que l'arséniure de gallium (GaAs) ou le phosphore d'indium (InP), tandis que les régions source et drain sont généralement composées d'un matériau fortement dopé différent pour créer une barrière Schottky.

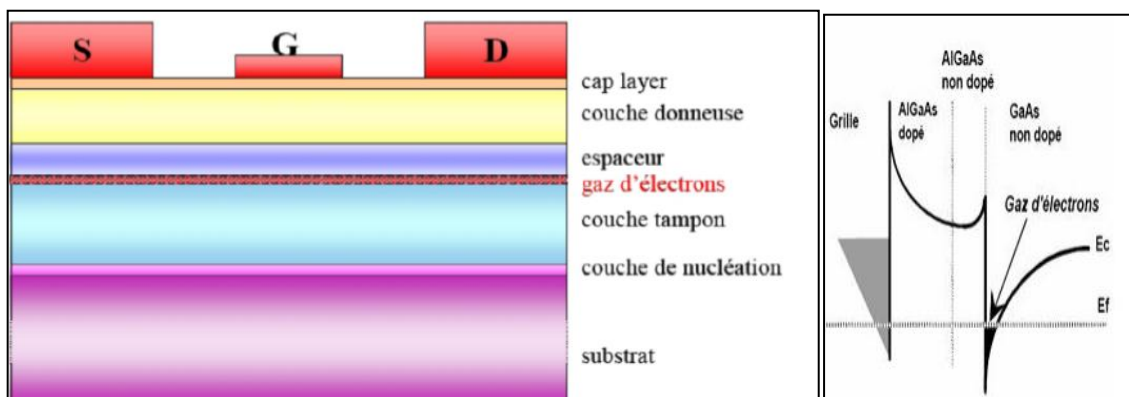


Figure 1.8: Structure de principe d'un HEMT classique associée à son diagramme de bande d'énergie

- **La couche de contact ohmique** : c'est un matériau à petit gap fortement dopé qui sert à former des contacts ohmiques de source et drain de faible résistivité
- **Le contact de grille** : le contact de grille est nécessaire pour contrôler la charge du canal et donc le courant. Ce contact est de type Schottky.
- **Le canal** : il est constitué d'un matériau à petit gap non dopé. cette couche est importante dans la mesure
- **La couche donneuse** : dans cette couche la zone d'espace de charge se forme au niveau de la jonction Schottky de grille.
- **La couche Cap layer** : C'est une couche superficielle fine, formée par un matériau de faible bande interdite, sur laquelle sont réalisés de bons contacts ohmiques de drain et de source

II.5.4. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Le principe de fonctionnement du transistor HEMT est de séparer les électrons libres de la couche de semi-conducteur contenant les atomes donneurs ionisés et de les faire circuler dans une couche de semi-conducteur non dopé, ce qui permet d'obtenir une grande mobilité des porteurs.

Lorsque on applique une tension à la grille, une région de haute concentration d'électrons est créée à la surface du canal, sous l'électrode de grille. Cette région forme un canal conducteur entre les régions drain et source, pour que le courant puisse circuler.

Lorsque la tension de grille est augmentée, la largeur du canal augmente, ce qui augmente la conductivité du canal et donc le courant qui peut circuler

II.5.5. LES DOMAINES D'UTILISATION

Les composants HEMT sont des composants très polyvalents et trouvent des applications dans de nombreux domaines tels que les communications, l'aérospatiale, les applications militaires, l'électronique de puissance et les capteurs.

- Le hemt est également utilisé dans les mélangeurs, qui sont utilisés pour la conversion de fréquence dans les systèmes de communication à haute fréquence.
- Les oscillateurs à haute fréquence et les applications d'électronique de puissance
- Les capteurs de gaz, en raison de leur sensibilité élevée à certains gaz

III. CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons présenté un état de l'art très succinct des transistors à effet de champ à jonction JFET, à grille isolée MOSFET, à grille Schottky MESFET ainsi que le transistor à hétérojonction à forte mobilité HEMT. Nous avons précisé leurs définitions, leurs historiques, leurs structures ainsi que leurs principes de fonctionnement. Nous avons également rappelé leurs applications hautes fréquences et hautes puissances. Dans le cadre de notre travail nous nous intéresserons au MESFET GaAs à cause de ses bonnes propriétés de transport électronique dues au matériau arséniure de gallium qui permettent d'obtenir des densités de porteurs dont la vitesse moyenne dans le canal est bien supérieure à celle du Silicium. Ceci fera l'objet des prochains chapitres.



Chapitre II :

***Propriétés statiques du
MESFET GaAs***

CHAPITRE II : PROPRIETES STATIQUES DU MESFETGaAs

I. INTRODUCTION

Dans ce chapitre nous présentons tout d'abord les généralités sur les matériaux III-IV ainsi que les propriétés physiques et électroniques du semi-conducteur GaAs qui est un des matériaux privilégiés pour les composants hautes fréquences. Ensuite nous donnons les différents types des composants MESFET GaAs suivie d'un développement mathématique par la résolution des équations fondamentales des semi-conducteurs à savoir l'équation de Poisson et des densités de courant afin d'aboutir aux caractéristiques statiques du transistor MESFET GaAs.

II. GENERALITE SUR LES MATERIAUX III-V

Les matériaux III-V sont des semi-conducteurs composés de mélanges de deux éléments du groupe III et V du tableau périodique. Les éléments du groupe III comprennent l'aluminium (Al), le gallium (Ga), l'indium (In) et les éléments du groupe V comprennent l'azote (N), le phosphore (P), l'arsenic (As) et l'antimoine (Sb). Les combinaisons les plus courantes sont le GaAs, l'InP, l'AlGaAs et l'InGaAsP [20].

	3A	13	4A	14	5A	15	6A	16	
	5	B	6	C	7	N	8	O	
	10.811	Boron	12.0107	Carbon	14.0067	Nitrogen	15.9994	Oxygen	
		13	Al	14	Si	15	P	16	S
		26.9815	Aluminium	28.0855	Silicon	30.9738	Phosphorus	32.065	Sulfur
2B	12								
30	Zn	31	Ga	32	Ge	33	As	34	Se
65.400	Zinc	69.723	Gallium	72.64	Germanium	74.9216	Arsenic	78.96	Selenium
48	Cd	49	In	50	Sn	51	Sb	52	Te
112.411	Cadmium	114.818	Indium	118.710	Tin	121.760	Antimony	127.60	Tellurium
80	Hg	81	Tl	82	Pb	83	Bi	84	Po
200.59	Mercury	204.383	Thallium	207.2	Lead	208.9804	Bismuth	[209]	Polonium

Figure II.1: tableau périodique partiel

L'étude de leur structure de bandes montre toutefois, que les éléments les plus légers donnent des composés dont la bande interdite est large et indirecte, et dans laquelle la masse effective des électrons est élevée.

Le tableau (II-1) donnant l'énergie E_g de la bande interdite, la masse effective m^*/m_0 (où m^* et m_0 sont respectivement la masse effective et la masse de l'électron dans le vide) des électrons du bas de la bande de conduction, la mobilité électronique à champ faible μ et le paramètre cristallin a

Composé III-V	E_g (eV)	m^*/m_0	μ (cm ² /V.s)	a (Å)
Al P	2,45			5,4510
Al As	2,16			5,6605
Al Sb	1,58	0,12	200	6,1355
B P	2,0			4,5380
Ga P	2,26	0,82	110	5,4512
Ga As	1,42	0,067	8500	5,6533
In P	1,35	0,077	4600	5,8686
In As	0,36	0,023	33000	6,0584
In Sb	0,17	0,0145	80000	6,4794

Tableau II.1: propriétés des principaux composés binaires iii-v à 300 K.

Les semi-conducteurs III-V présentent plusieurs avantages par rapport aux semi-conducteurs à base de silicium, tels qu'une plus grande mobilité électronique, une bande interdite plus large, une vitesse de commutation plus rapide et une efficacité énergétique plus élevée. Ces propriétés les rendent particulièrement adaptés aux applications haute fréquence, optoélectroniques, de puissance et de capteurs. Les semi-conducteurs III-V sont utilisés dans une variété de dispositifs tels que les diodes électroluminescentes (LED), les lasers, les photo détecteurs, les transistors à effet de champ (FET), les circuits intégrés, les cellules solaires, les capteurs et les composants électroniques pour l'aérospatiale et la défense [20].

III. PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET ÉLECTRONIQUE DU MATÉRIAU GaAs

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

Poids atomique	144.63 g/mol
Structure cristalline	Zinc blinde (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	$\tau=10^{-8}\text{ S}$

Tableau II.2: propriétés physiques et électroniques du GaAs

IV. STRUCTURE CRISTALLINE DU MATERIAU GaAs[21]

L'arséniure de gallium (GaAs) est un composé de la famille III-V. Il cristallise dans la structure du Zinc Blende. Son réseau cristallin peut se décomposer en deux sous-réseaux cubiques à faces centrées interpénétrés, l'un étant constitué des atomes de (Ga), l'autre des atomes de (As). Ces deux sous-réseaux sont décalés l'un par rapport à l'autre du quart de la diagonale principale, c'est-à-dire d'une quantité de $a_0/4$ (1, 1, 1), a_0 étant le paramètre cristallin, où chaque atome se trouve donc au centre d'un tétraèdre régulier dont les sommets sont occupés par un atome de l'autre espèce.

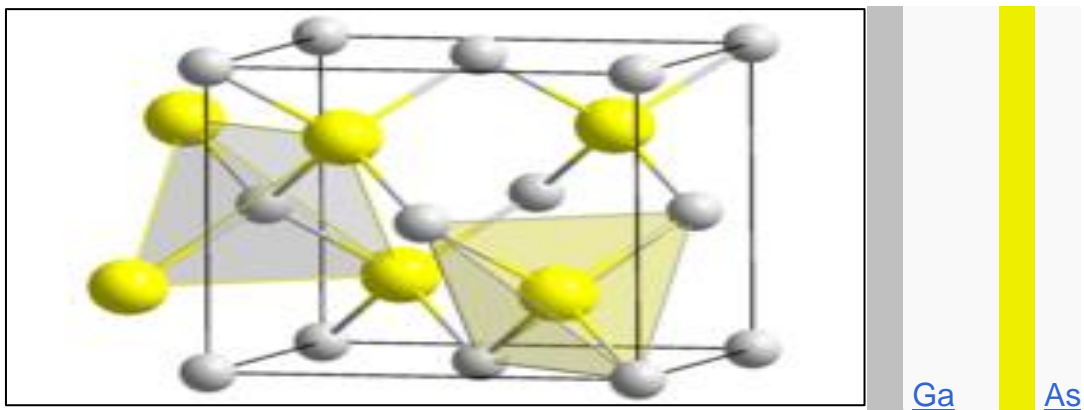


Figure II.2: Structure Cristalline du GaAs

V. AVANTAGES ET INCONVENIENTS DU MATERIAU GaAs

Même si le silicium reste le matériau de base le plus largement utilisé dans le secteur des semi-conducteurs, on constate l'émergence rapide de nouveaux marchés demandant des matériaux spécifiques. Le besoin de nouveaux composants pour les hyperfréquences, la logique rapide, l'optoélectronique a poussé le développement des matériaux III-V dont les propriétés de transport électronique et les propriétés optiques ne sont pas accessibles au silicium.

Le matériau GaAs offre une vitesse de commutation plus élevée que les semi-conducteurs courants tels que le silicium, ce qui en fait un choix idéal pour les applications haute fréquence [20]. Il a aussi une mobilité électronique plus élevée que le silicium, un faible bruit ce qui le rend adapté aux applications de communication, de capteurs de haute sensibilité et une grande efficacité énergétique pour consommer moins d'énergie pour une même performance.

Pour les inconvénients, le matériau GaAs est plus coûteux et plus fragile que le silicium et peut se fissurer plus facilement pendant le processus de fabrication ou lors de l'utilisation. Le gallium et l'arsenic sont des matériaux toxiques et doivent être manipulés avec précaution pendant la fabrication et le traitement des déchets, aussi il ne peut pas être utilisé dans certains processus de fabrication courants comme le silicium

Malgré ses inconvénients, le GaAs reste un matériau important pour les dispositifs électroniques de haute performance dans les domaines tels que les télécommunications, l'aérospatiale, la défense et la recherche scientifique.

VI. DIFFERENTS TYPES DE MESFET GaAs

VI.1. MESFET A CANAL LONG

Un MESFET à canal long est un type de transistor à effet de champ à grille métallique-semi-conducteur (MESFET) dans lequel le canal de conduction du courant est plus long que dans les dispositifs à canal court ce qui permet d'obtenir une résistance de sortie plus élevée et une sensibilité de gain plus faible [20]. Il est généralement utilisé dans les applications de commutation de puissance, amplificateurs de puissance à bande étroite et les circuits de commutation haute tension.

Les MESFET à canal long sont fabriqués par l'utilisation de la condition $L > a$

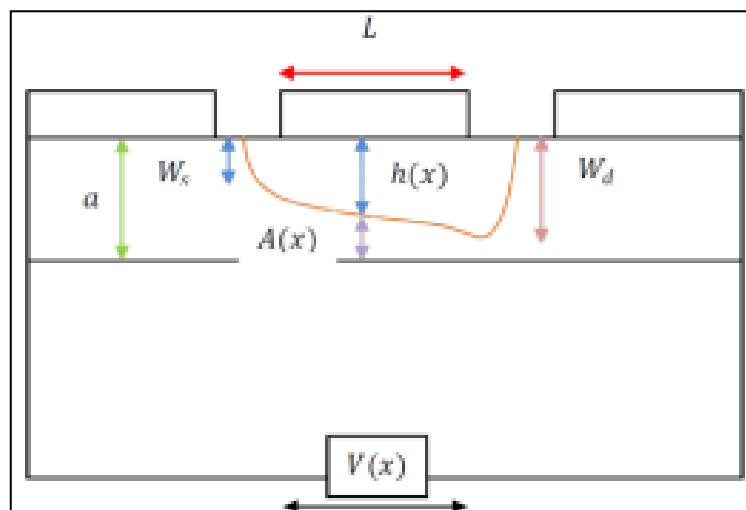


Figure II.3: MESFET à canal long

VI.2. MESFET A CANAL COURT

Un MESFET (Metal-Semiconductor Field-Effect Transistor) à canal court est un type de transistor à effet de champ (FET) qui utilise un matériau semi-conducteur dopé à faible teneur en impuretés comme canal. Contrairement aux MESFET à canal long, les MESFET à canal court ont une région de canal très courte qui permet une commutation plus rapide et une plus grande densité de courant [20].

Le fonctionnement des MESFET à canal court repose sur la formation d'une couche de charges à la jonction entre le métal et le semi-conducteur, appelée couche de déplétion. Cette couche agit comme une barrière pour le courant entre la source et le drain du transistor, et sa largeur peut être modulée par une tension appliquée à la grille du transistor [20].

Ils sont utilisés dans les applications haute fréquence, les dispositifs optoélectroniques, les amplificateurs à haute fréquence et les oscillateurs.

VII. LES PARAMETRES STATIQUES DU MESFET GAAS

VII.1. EXPRESSIONS ANALYTIQUES DU MESFET

Nous allons maintenant définir les principales expressions analytiques du transistor MESFET à l'arséniure de gallium GaAs pour étudier ses propriétés statiques qui donnent la variation du courant du drain avec la tension de drain pour des valeurs de la tension de grille donné par la loi :

$$I_D = f(V_G, V_D) \quad (\text{II-1})$$

Ces expressions prennent en considération l'ensemble des phénomènes physiques spécifiques à ce composant. Pour cela des hypothèses basées sur des approximations nous

permettra de résoudre les équations différentielles et de simplifier les expressions mathématiques

VII.2. ÉQUATIONS FONCTIONNELLES DU MESFET

La modélisation du composant MESFET nécessite plusieurs hypothèses simplificatrices à cause des difficultés imposées par les conditions de bord [...]. Notre étude concerne essentiellement à restreindre la modélisation à la région active du canal.

Nous utilisons l'approche physique qui consiste à résoudre un système d'équations différentielles obtenues à partir de la distribution des charges et du champ électrique dans le canal du transistor. Notre modèle est basé sur la résolution unidimensionnelle de l'équation de Poisson. Cette équation est très importante pour la description des phénomènes de transport dans les semi-conducteurs et elle est à la base de tous les modèles des transistors à effet de champ pour expliquer la déformation de la zone de charge d'espace et calculer les variations du potentiel et du champ électrique dans le canal conducteur suivant les différents régimes de fonctionnement [22].

Equation de Poisson

$$\nabla^2 V(x, y, z) = -\frac{\rho(x, y, z)}{\epsilon} \quad (\text{II-2})$$

Champ électrique

$$\vec{E} = -\vec{\nabla}(V(x, y, z)) \quad (\text{II-3})$$

Densité du courant

$$J_x = \sigma(x, y, z) E_x \quad (\text{II-4})$$

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

- $V(x, y, z)$: la variation totale du potentiel électrostatique à travers la zone active
- $\rho(x, y, z)$: la densité de charges dans le canal
- \vec{E} : le champ électrique
- J_x est la densité de courant de conduction,
- $\sigma(x, y, z)$ est la conductivité du canal,
- ϵ est la permittivité du semi-conducteur

VII.3. CALCUL DU POTENTIEL ET DU CHAMP ELECTRIQUE DANS LA ZONE ACTIVE [23][24]

La difficulté de résoudre l'équation de Poisson différentielle partielle non linéaire nécessite des approximations et des hypothèses simplificatrices.

Pour calculer le potentiel et le champ électrique, on raisonne sur la structure, schématisée sur la figure (II-1).

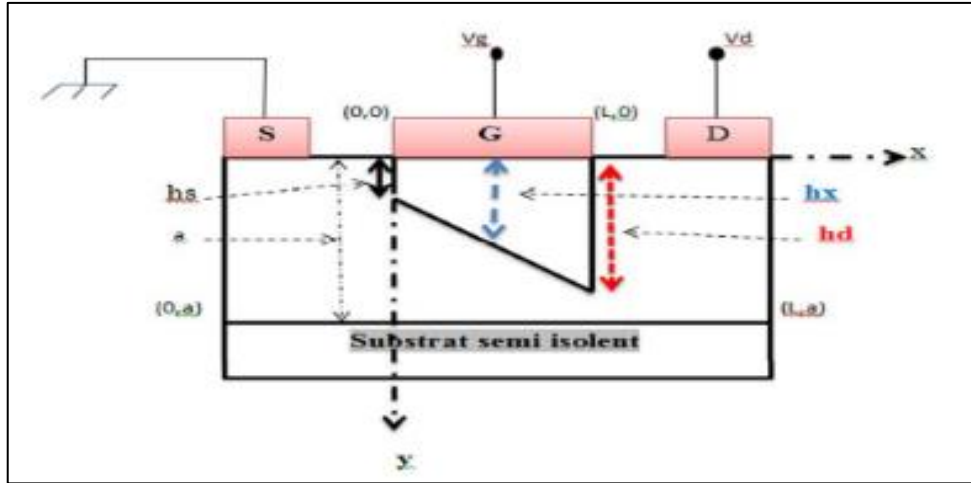


Figure II.4: zone active du transistor MESFET

Les axes x et y représentent les axes longitudinaux et transversaux de la structure, La largeur de la zone de déplétion hx en un point d'abscisse x varie entre hs à la source et hd au drain.

De l'intégration de l'équation de Poisson, nous obtenons la relation du potentiel dans la zone active du canal sous l'électrode de grille :

$$\nabla^2 V(x, y, z) = \frac{d^2V}{dx^2} + \frac{d^2V}{dy^2} + \frac{d^2V}{dz^2} = -\frac{\rho(x,y,z)}{\epsilon} \quad (II-5)$$

Si le dopage au niveau du canal est homogène la densité des charges est constante dans le plan de la structure mais peut varier dans la direction perpendiculaire y. Dans ces conditions la densité des charges s'écrit :

$$\rho(y) = qN_d = qN_d(y) \quad (II-6)$$

Ou q est la charge de l'électron $q=1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

D'autre part nous admettons que tous les donneurs sont ionisés à la température ambiante, ainsi la densité de charge dans le semi-conducteur sous la grille s'écrit :

$$0 < y < h(x) \quad \rho = qN_d \quad (\text{II-7})$$

$$y > h(x) \quad \rho = 0 \quad (\text{II-8})$$

q : la charge élémentaire.

N_d : Concentration des électrons.

Le potentiel suivant la direction z est constant, pour des raisons de symétrie, de sorte que

$$\frac{d^2V}{dz^2} = 0. \quad (\text{II-9})$$

En outre, si on admet que la longueur du canal est beaucoup plus importante que l'épaisseur h de la zone de charge d'espace, hypothèse du canal graduel ($L \gg h$), la variation du champ électrique suivant la direction perpendiculaire à la structure est beaucoup plus importante que dans la direction longitudinale. Ce qui permet de ramener l'équation de poisson à une seule direction :

$$\frac{d^2V}{dy^2} = -\frac{qN_d}{\varepsilon} \quad (\text{II-10})$$

Nous intégrons l'équation (II-10) avec la condition $E=0$ pour $y \geq h$ pour obtenir la relation du champ électrique :

$$\frac{dV}{dy} = -E(y) = -\frac{1}{\varepsilon} \int_h^y qN_d dy = -\frac{qN_d}{\varepsilon} (y - h) \quad (\text{II-11})$$

Pour obtenir le potentiel électrostatique V dans la zone active à l'abscisse x avec la condition $V(x, 0, z) = V_{gs} - V_{bi}$, En intégrant encore une fois

$$V = \int_0^y \left[-\frac{qN_d}{\varepsilon} (y - h) \right] dy = -\frac{qN_d}{\varepsilon} \left(\frac{y^2}{2} - hy \right) + V_{gs} - V_{bi} \quad (\text{II-12})$$

V_{bi} : est la tension de diffusion

$$V_{bi} = \varphi_m - \varphi_s \quad (\text{II-13})$$

Sa relation est donnée par la différence des travaux de sortie du métal et du semi-conducteur

En prenant l'origine des potentiels à l'interface nous trouvons :

$$V = -\frac{qN_d}{\varepsilon} \left(\frac{y^2}{2} - hy \right) \quad (\text{II-14})$$

Le potentiel dans le canal conducteur s'obtient en portant $y=h$

D'après la relation (9) avec la condition $y=h$

$$V_{bi} = -\frac{qN_d}{\varepsilon} \left(\frac{h^2}{2} - hh \right) = -\frac{qN_d h^2}{2\varepsilon} \quad (\text{II-15})$$

D'après les relations (II-14) et (II-15), on peut écrire la largeur de la zone de charge d'espace comme suit :

$$h = \left[\frac{2\varepsilon}{qN_d} V_{bi} \right]^{1/2} = \left[\frac{2\varepsilon}{qN_d} (\varphi_m - \varphi_s) \right]^{1/2} \quad (\text{II-16})$$

$$h(V) = \left[\frac{2\varepsilon}{qN_d} (V_{bi} - V) \right]^{1/2} \quad (\text{II-17})$$

La composante $E_x(x)$ du champ électrique dans le canal est donnée par :

$$E_x(x) = -\frac{dV(x, y)}{dx} \quad (\text{II-18})$$

En développant $\frac{dV(x, y)}{dx}$ sous la forme $\frac{dV(x, y)}{dh(x)} \cdot \frac{dh(x)}{dx}$ on trouve:

$$\frac{dV(x, y)}{dh(x)} = \frac{q}{\varepsilon} \cdot h(x) \cdot N_d(h(x)) \quad (\text{II-19})$$

Et dans le canal conducteur on a pour $h(x) = y$:

$$E_x(x) = -\frac{q}{\varepsilon} h(x) \cdot N_d(h(x)) \frac{dh(x)}{dx} \quad (\text{II-20})$$

Il faut connaître l'expression de $h(x)$ pour expliciter le champ électrique et le potentiel.

Dans la suite on se placera dans l'hypothèse du canal graduel, qui nous permettra de calculer son expression en fonction de h_s et h_d , ses valeurs coté source et coté drain respectivement

$$h(x) = \frac{h_d - h_s}{L} x + h_s \quad (\text{II-21})$$

VII.4. DETERMINATION DECOURANT DE DRAIN DANS LE CANAL

Pour déterminer l'expression du courant de drain en fonction de la tension de grille, nous utilisons les hypothèses suivantes[25][26]

- 1) Une jonction abrupte à barrière de Schottky
- 2) Un canal de dopage uniforme $N_d(x, y) = N_d = \text{constant}$
- 3) Le courant se limite dans la couche active
- 4) On néglige les effets de bords, les effets d'éventuels états d'interface
- 5) Le canal est graduel $L \gg a$

Le courant de drain I_d compté positivement dans le sens drain-source, est obtenu en intégrant la densité de courant donné par la relation (II-3)

$$J_x = \sigma(x, y, z) E_x \quad (\text{II-22})$$

$$\sigma(x, y, z) = \rho \mu_n(E_x). \quad (\text{II-23})$$

$$J_x = q N_d \mu_n E_x = -q N_d \mu_n \frac{dV}{dx} \quad (\text{II-24})$$

μ_n : La mobilité des électrons qui dépend du champ électrique

$$I_d = - \int J_x ds = - \int_0^z \int_h^a J_x dz dy = -z q N_d \mu_n E_x (a - h) \quad (\text{II-25})$$

La continuité et l'intégration du courant de drain I_d sur la longueur du canal exigent qu' I_d soit constant

$$\int_0^L I_d dx = I_d L = \int_0^{V_d} z q N_d \mu_n a \left(1 - \frac{h(x)}{a}\right) dV(x). \quad (\text{II-26})$$

D'après la relation (II-14)

$$h(x) = \left[\frac{2\varepsilon}{q N_d} (V_{bi} + V(x) - V_g) \right]^{1/2} \quad (\text{II-27})$$

la valeur maximale $h(x) = a$:

$$a = \left[\frac{2\varepsilon}{q N_d} (V_{bi} - V_g) \right]^{1/2} \quad (\text{II-28})$$

$$\frac{h(x)}{a} = \left[\frac{V_{bi} + V(x) - V_g}{V_{bi} - V_g} \right]^{1/2} \quad (\text{II-29})$$

En remplaçant l'équation (II-22) dans l'équation (II-20) :

$$I_d L = \int_0^{V_d} zqN_d \mu_n a \left(1 - \left[\frac{V_{bi} + V(x) - V_g}{V_{bi} - V_g} \right]^{1/2} \right) dV(x). \quad (\text{II-30})$$

$$I_d = \frac{zqN_d \mu_n a}{L} \int_0^{V_d} \left(1 - \left[\frac{V_{bi} + V(x) - V_g}{V_{bi} - V_g} \right]^{1/2} \right) dV(x).$$

$$I_d = \frac{zqN_d \mu_n a}{L} \left\{ V_d - \frac{2}{3} \left[\left(\frac{V_{bi} + V_d - V_g}{V_{bi} - V_g} \right)^{3/2} - \left(\frac{V_{bi} - V_g}{V_{bi} - V_g} \right)^{3/2} \right] \right\} \quad (\text{II-31})$$

On peut écrire l'expression du courant de drain I_d en fonction de h_d et h_s :

$$I_d = \frac{(q.N_d)^2 .Z.\mu_n}{\varepsilon.L} \left[\frac{a}{2} (h_d^2 - h_s^2) - \frac{1}{3} (h_d^3 - h_s^3) \right] \quad (\text{II-32})$$

Les calculs effectués ci-dessus en posant le courant de pincement :

$$I_p = \frac{(qN_d)^2 Z\mu_n a^3}{2\varepsilon L} \quad (\text{II-33})$$

Et la tension de pincement :

$$V_p = V_{bi} - V_g \quad (\text{II-34})$$

$$V_p = \frac{qN_d}{2\varepsilon} a^2 \quad (\text{II-35})$$

En remplaçant l'équation (II-28) et(II-29) dans l'équation (II-27) on obtient l'expression finale du courant de drain qui s'écrit :

$$I_d(V_d, V_g) = I_p \left[\frac{V_d}{V_p} - \frac{2}{3} \left(\frac{V_d + V_{bi} - V_g}{V_p} \right)^{3/2} + \frac{2}{3} \left(\frac{V_{bi} - V_g}{V_p} \right)^{3/2} \right] \quad (\text{II-36})$$

Cependant, cette équation qui détermine la variation du courant de drain en fonction des deux tensions de polarisation s'écrit différemment, selon le régime de fonctionnement du

transistor et qui dépend essentiellement de la valeur de la tension de la grille. Ces régimes sont le régime linéaire et le régime de saturation.

REGIME LINEAIRE

Lorsque la tension de drain est faible et vérifie la condition suivante ;

$$V_d \ll V_{bi} - V_g$$

Ainsi, l'équation (II-27) se réécrit :

$$I_d(V_d, V_g) = \frac{I_p}{V_p} \left\{ 1 - \sqrt{\frac{V_{bi} - V_g}{V_p}} \right\} \cdot V_d \quad (\text{II-37})$$

On voit clairement que le courant I_D varie linéairement en fonction de la tension V_d , lorsque $V_g = V_{bi} - V_p$, le courant I_d s'annule quelle que soit la valeur de V_d , la tension de grille dans ce cas est appelée la tension de seuil V_T .

REGIME DE SATURATION

Le régime de saturation, où le courant sature à la valeur I_{dsat} . Cette région de caractéristiques est connue comme étant la région de saturation, le courant dans ce cas peut être évalué à partir de l'équation (II-27), en évaluant l'expression du courant I_d dans ce cas au point de pincement en posant :

$$V_d = V_{dsat} = V_p - V_{bi} + V_g$$

$$I_{dsat} = I_p \left[\frac{1}{3} - \left(\frac{V_{bi} - V_g}{V_p} \right) + \frac{2}{3} \left(\frac{V_{bi} - V_g}{V_p} \right)^{\frac{3}{2}} \right] \quad (\text{II-38})$$

I_d : dépend de la géométrie du transistor (Z , a , L) et dépend de la mobilité μ .

VIII. EFFET DES PARAMÈTRES GEOMETRIQUES

VIII.1. EFFET DE LA LOI DE MOBILITE[15]

Les caractéristiques courant-tensions dépendent de la loi de mobilité des porteurs qui est fonction du champ électrique. Le choix d'une loi de mobilité est important pour une description correcte des phénomènes physiques dans les MESFET à grille micronique ou submicronique.

Dans le domaine des champs électriques faibles, les porteurs libres sont en équilibre thermodynamique avec le réseau et leur vitesse moyenne est proportionnelle au champ électrique:

$$E < E_0 \quad ; \quad \mu = \mu_n$$

Lorsque le champ électrique est élevé, le transfert intervallés des électrons induit dans le GaAs une décroissance de la vitesse des porteurs qui entraîne une mobilité différentielle fortement négative. Cependant, il n'existe pas une loi qui traduit réellement les variations de cette mobilité avec le champ électrique et plusieurs expressions analytiques approchées ont été proposées. Tapez une équation ici.

Il n'existe pas une seule loi qui traduit les variations de cette mobilité avec le champ électrique, pour étudier son effet sur le courant de drain nous avons choisi deux expressions de la loi de mobilité en fonction du champ électrique à titre de comparaison:

$$\mu_1(E) = \frac{\mu_n}{1 + \left(\frac{E}{E_c}\right)} \quad (\text{II-39})$$

$$\mu_2(E) = \frac{\mu_n + v_s \left(\frac{E^3}{E_c^4}\right)}{1 + \left(\frac{E}{E_c}\right)^4} \quad (\text{II-40})$$

Avec $\mu_0 = \frac{q\tau}{m^*}$

τ : le temps de relaxation.

m : masse effective de l'électron.

E_c : le champ critique.

$$E_c = \frac{v_s}{\mu_n}$$

v_s : la vitesse de saturation.

VIII.2. EFFET DE LA DENSITE DE DONNEUR

L'expression analytique du courant de drain (II-36) dépend de la densité de donneurs N_d de la couche active.

VIII.3. EFFET DE LA TEMPÉRATURE[27][28][29]

La température de fonctionnement d'un transistor de puissance ou de micro-ondes est un paramètre très important qui affecte aussi bien les performances, les limites de fonctionnement ou la durée de vie du composant.

En effet, une augmentation de la température de jonction entraîne une décroissance de la mobilité des électrons et par conséquent une diminution du courant de drain I_{DS} , ainsi qu'une augmentation des courants de fuite due au courant de saturation.

La mobilité en fonction de la température s'écrit :

$$\mu_{[T]} = \mu_{[T_0]} \left(\frac{T_0}{T} \right)^s \quad (\text{II-41})$$

T_0 est la température ambiante. ($T_0 = 300K$)

Le paramètre $s = 0.5 \pm 0.1$ pour un MESFET GaAs

La vitesse de saturation varie avec la température comme [.....]

$$v_s = \frac{2.410^5}{1 + \exp(T/600)} \text{ m/s} \quad (\text{II-42})$$

Selon Congre [30] la dépendance de la tension de seuil peut être approximativement donnée par:

$$V_{th} = V_{th}(300^\circ K) - \alpha_{vT} T \quad (\text{II-43})$$

La valeur de α_{vT} est de l'ordre de $1.2 \text{ mV}/^\circ\text{C}$.

IX. CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons établi l'ensemble des équations fonctionnelles du transistor MESFET à l'arséniure de gallium GaAs à canal N. Ces équations nous permettront de déterminer l'influence des paramètres physiques (la mobilité μ et la densité de donneurs N_d) et des paramètres géométriques (L, a, Z), et aussi l'influence de la température sur les performances du composant.



Chapitre III :

Résultats Et

Interprétations

CHAPITRE III : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

I. INTRODUCTION

Dans ce chapitre, nous présentons et nous discutons nos résultats de simulation des caractéristiques électriques statiques des transistors MESFET GaAs pour différents paramètres géométriques et physiques ainsi que l'effet de la température.

II. LOGICIEL DE SIMULATION

A partir des expressions analytiques établies au deuxième chapitre, nous avons établi un logiciel de simulation conçu et réalisé en MATLAB 7.

MATLAB est un logiciel de calcul numérique matriciel à syntaxe simple. C'est devenu un logiciel de programmation largement utilisé en finance et en ingénierie financière. Il est utilisé par des millions d'ingénieurs et de scientifiques pour analyser des données, développer des algorithmes et créer des modèles.

Ce dernier permet la résolution du système d'équations et d'utiliser les résultats pour tracer les différentes courbes. A l'aide de ce logiciel, on a pu déterminer :

- Les caractéristiques courant tensions I-V dans les différents régimes de fonctionnement linéaire et saturé du transistor.
- L'effet des paramètres géométriques et technologiques (L, a, Z,) sur les caractéristiques I-V du transistor.
- L'effet des paramètres physiques (le dopage Nd, la mobilité et la température) sur les caractéristiques I-V du MESFET.

III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

III.1. CARACTERISTIQUES COURANT TENSION I-V

L'organigramme utilisé pour le calcul numérique est présenté dans la figure (III-1)

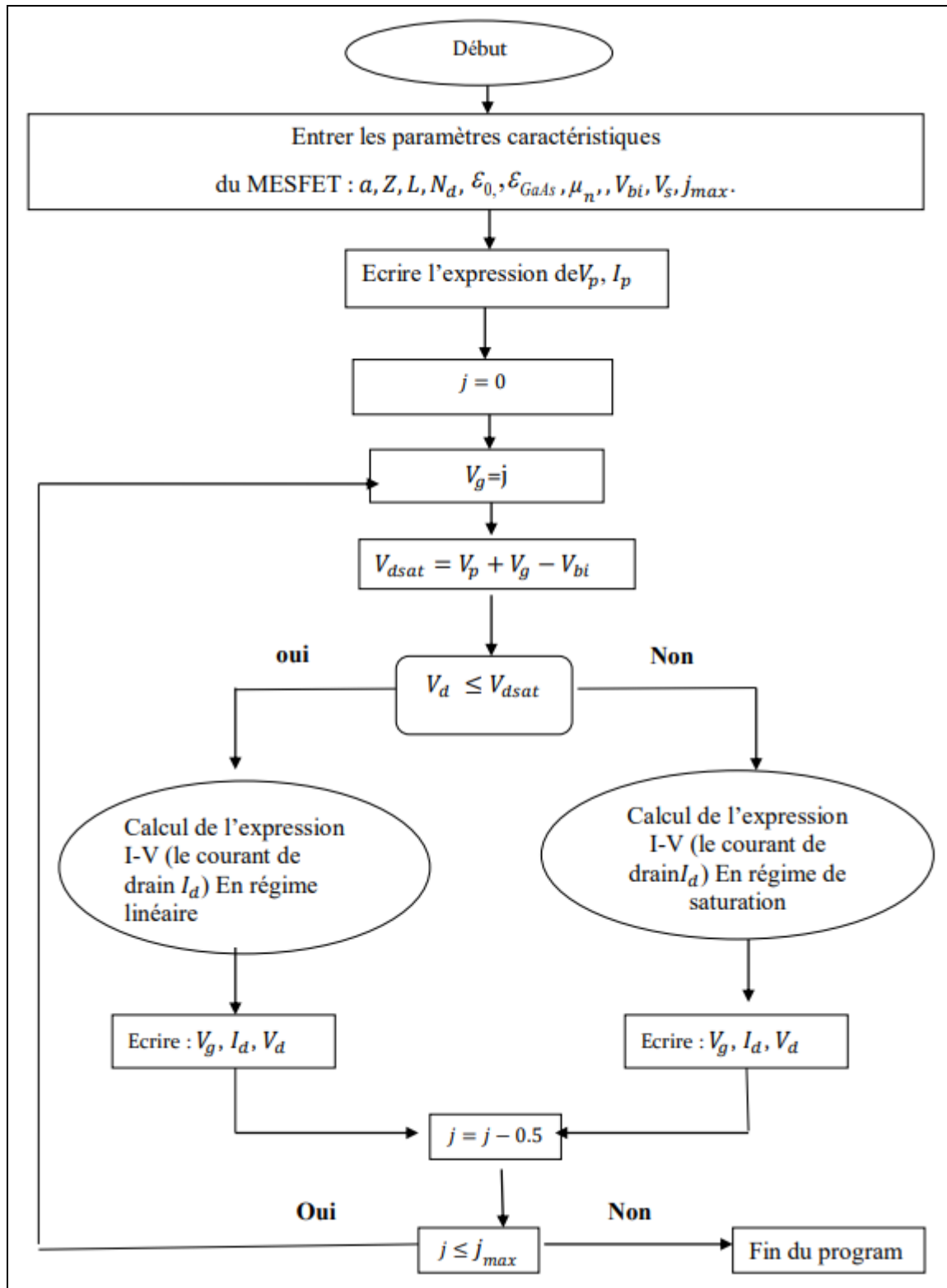


Figure III.1: organigramme de calcul des caractéristiques i-v

Les caractéristiques des échantillons d'étude sont regroupées dans le tableau III-1.[18]

Transistor	MESFET1	MESFET2
L (μm)	0.7	1
a (μm)	0.2	0.2
Z (μm)	360	400
μ_0 (m ² .s ⁻¹ .V ⁻¹)	0.4200	0.3800
Nd (at.m ⁻³)	6.9×10^{22}	1.2×10^{23}
Vbi(V)	0.8	0.9
Vp(V)	0.86	1.80

Tableau III. 1: paramètres de MESFET 1 et MESFET 2

Les Figures (III.2) et (III.3) présentent les variations du courant de drain en fonction de la tension de drain V_D pour différentes valeurs de la tension de la grille V_G obtenues dans le cadre de la mobilité constante des porteurs

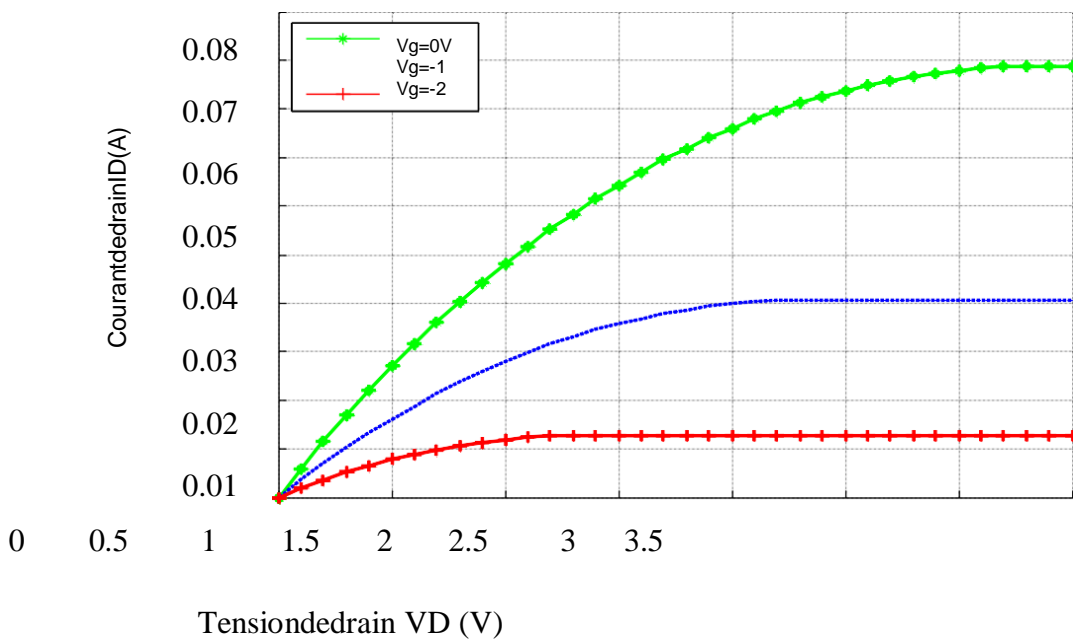


Figure III.2 : Caractéristiques I-V pour différentes valeurs de VG pour le MESFET 1

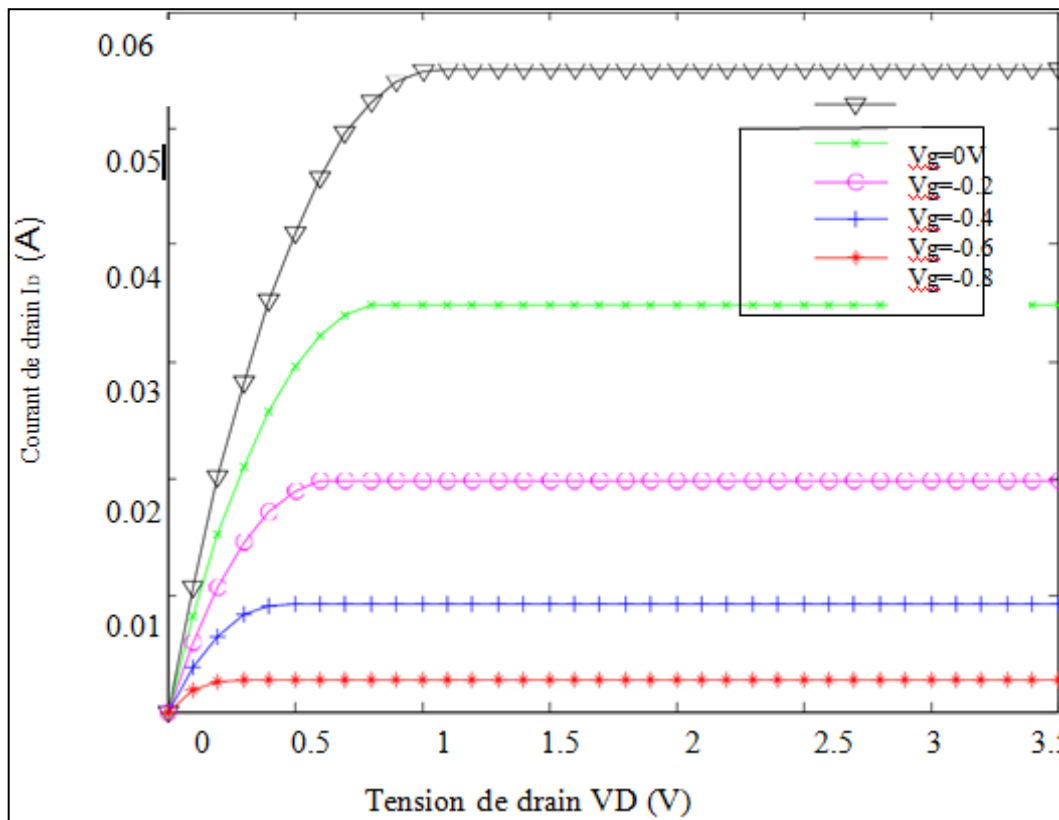


Figure III.3 : Caractéristiques I-V pour différentes valeurs de V_G pour le MESFET 2

D'après ces Figures (III.2) et (III.3) on observe que le courant de drain augmente rapidement avec V_D puis se stabilise à une tension V_D dite tension de saturation V_{Dsat} et aussi nous remarquons la présence de trois régions qui correspondent aux trois régimes de fonctionnement

- La première zone consiste à un état ohmique, c'est-à-dire que le courant I_{ds} varie linéairement en termes de tensions V_{ds} , ce qui signifie que nous sommes dans une région linéaire.
- Par contre, dans la deuxième zone, le courant I_{ds} modifie son allure en augmentant avec la tension V_{ds} mais pas de la même manière que précédemment (région linéaire). On remarque, dans cette région, que le courant I_{ds} augmente progressivement jusqu'à une valeur limite, c'est le régime du pincement.
- La troisième zone est la zone de saturation ou bien de fonctionnement saturé, c'est-à-dire que le courant devient indépendant de la tension de drain V_{ds} .

III. 2. DISCUSSION

a. Zone linéaire

La zone linéaire est appelée également zone ohmique, où le courant de drain (I_{ds}) varie de manière quasi-linéaire pour de faibles valeurs de tension de drain. En effet, pour ces faibles valeurs de V_{ds} , le canal reste de section sensiblement uniforme sous le contrôle de la grille. Ce qui fait que le transistor est assimilable à une résistance variable dont la valeur est contrôlée par la tension de grille. Sachant que le courant I_{ds} atteint son maximum pour une tension de grille égale à zéro.

b. Zone de pincement

Au fur et à mesure que la tension de drain augmente, la section de la zone dépeuplée (zone de charge d'espace) commence à changer, tel que du côté drain elle devient beaucoup plus importante que du côté source. Ce pincement du canal provoque un ralentissement du courant I_{ds} pour certaines valeurs de V_{ds} .

c. Zone de saturation

L'augmentation de la tension de drain V_{ds} n'a pratiquement aucune influence sur le courant de drain I_{ds} , lorsque ce dernier commence à rentrer dans la zone de saturation

III.3. EFFETS DES PARAMETRES PHYSIQUES ET GEOMETRIQUES

Nous présentons dans cette partie, l'influence des paramètres physiques et géométriques L (longueur de la grille), a (épaisseur de la couche active), Z (largeur de la grille) et N_d (le dopage de la zone active) sur les caractéristiques courant tensions I-V du transistor MESFET1.

III.3.1. INFLUENCE DE LA LONGUEUR DE GRILLE L

La figure III-4 présente les variations du courant de drain I_{ds} en fonction de la tension de drain V_{ds} pour différentes valeurs de L

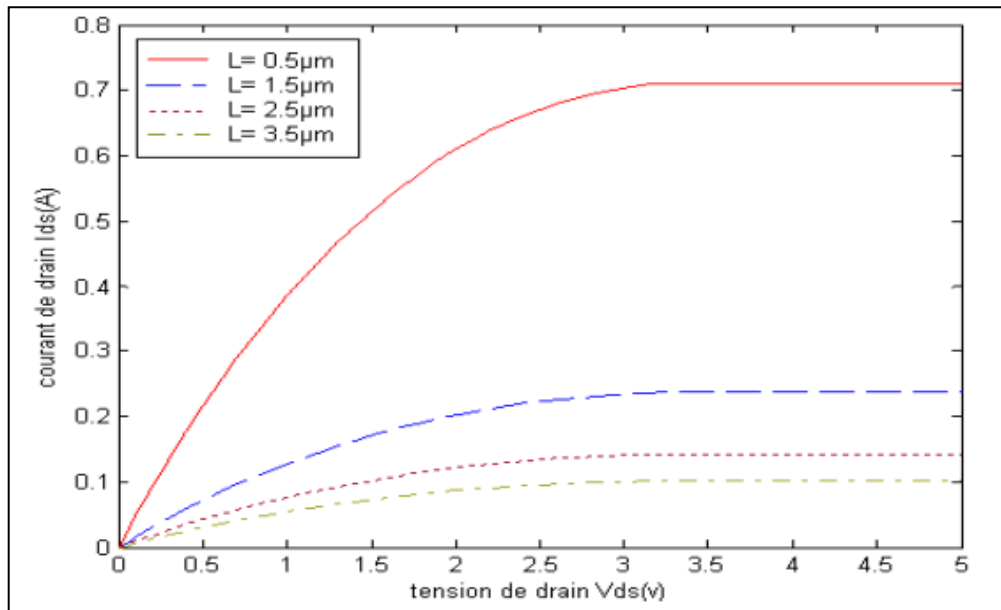


Figure III.4 : Caractéristiques I-V pour différentes valeurs de L pour le MESFET 1

Nous remarquons qu'il y a une croissance du courant de drain au fur et à mesure que la longueur L de la grille diminue conformément à l'expression générale du courant (II-). On constate 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 diminue ce qui limite le passage des porteurs.

III.3.2. INFLUENCE DE LA LARGEUR DE LA GRILLE Z

Sur les figures (III-5) nous présentons l'influence de la largeur de la grille sur le courant de drain.

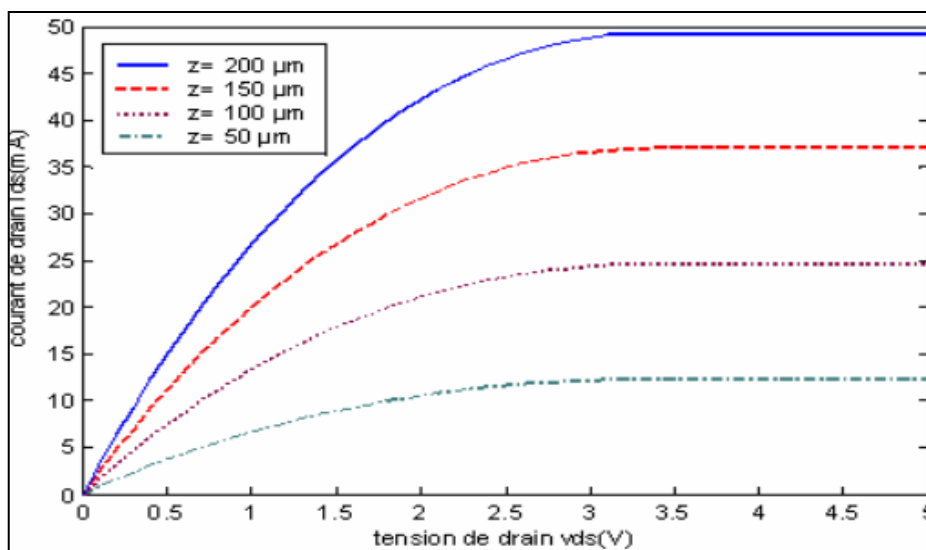


Figure III.5 : Variations de la caractéristique I-V pour différentes valeurs de la largeur de grille Z

Nous constatons une augmentation du courant avec l'augmentation de la largeur de la grille Z qui est due à une diminution de la transconductance.

III.3.3. INFLUENCE DE L'ÉPAISSEUR DE LA COUCHE ACTIVE a

Sur la figure III-6 nous présentons l'influence de l'épaisseur de la couche active a sur les caractéristiques I-V du composant.

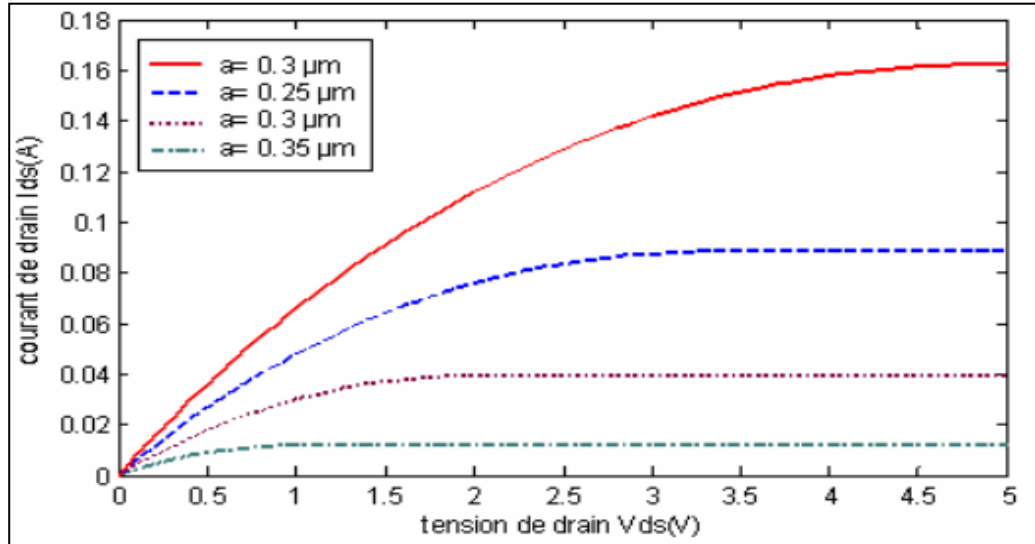


Figure III.6 : Variations de la caractéristique I-V pour différentes valeurs de l'épaisseur de la couche active a

Nous constatons une augmentation du courant avec l'augmentation de l'épaisseur de la couche active a . De la même manière que pour l'effet de la largeur de la grille ceci est dû à une diminution de la transconductance.

III.3.4. INFLUENCE DU DOPAGE ND DE LA COUCHE ACTIVE

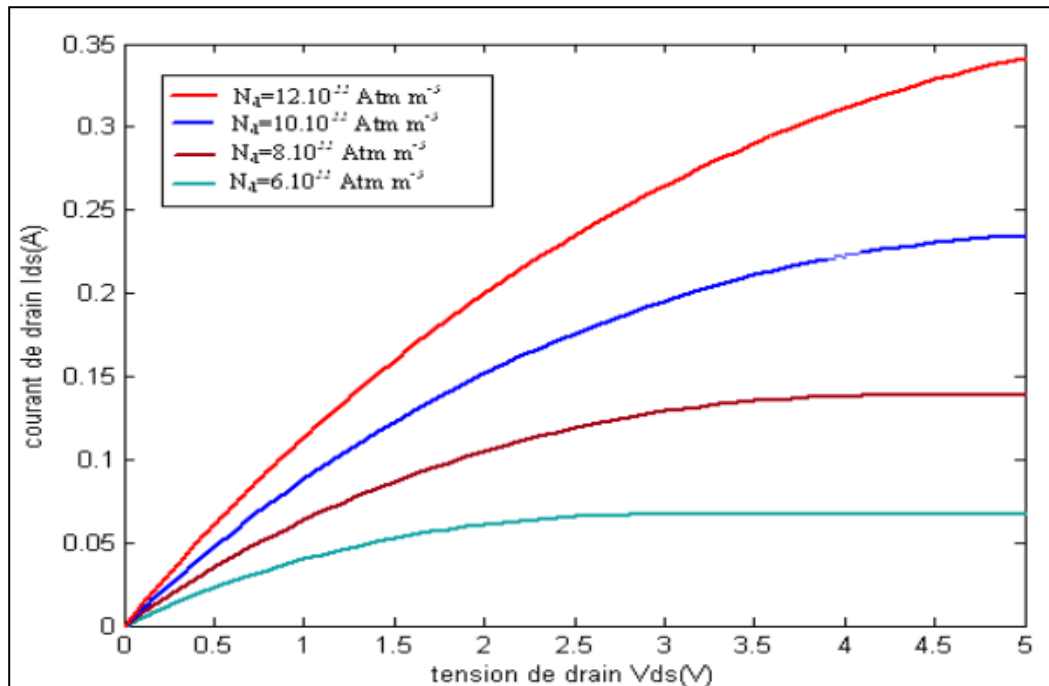


Figure III.7 : Variations de la caractéristique I-V pour différentes valeurs du dopage ND de la couche active

Nous remarquons qu'il y a une augmentation du courant avec l'augmentation du dopage de la couche active du transistor car la résistivité des porteurs diminue avec la concentration des porteurs. En d'autres termes, la conductivité augmente.

III.3.5. INFLUENCE DE LA MOBILITE DES PORTEURS

Après simulation, on obtient les courbes du courant de drain en fonction de la tension de drain pour différentes valeurs de la mobilité constante pour les deux transistors précédents.

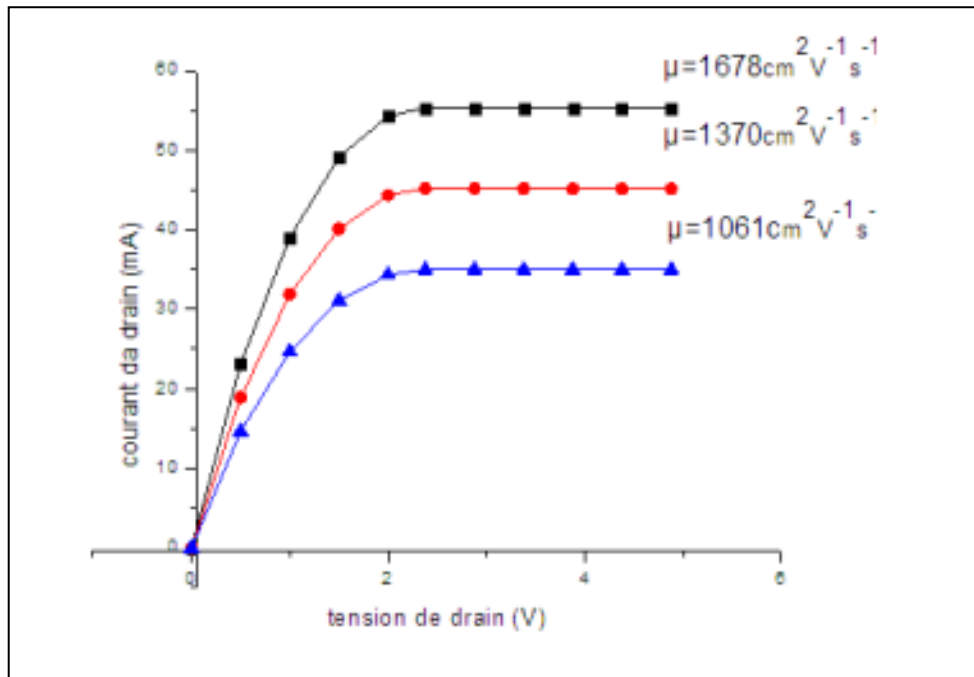


Figure III.8: Variations de la caractéristique I-V pour différentes valeurs de la mobilité pour le MESFET 1

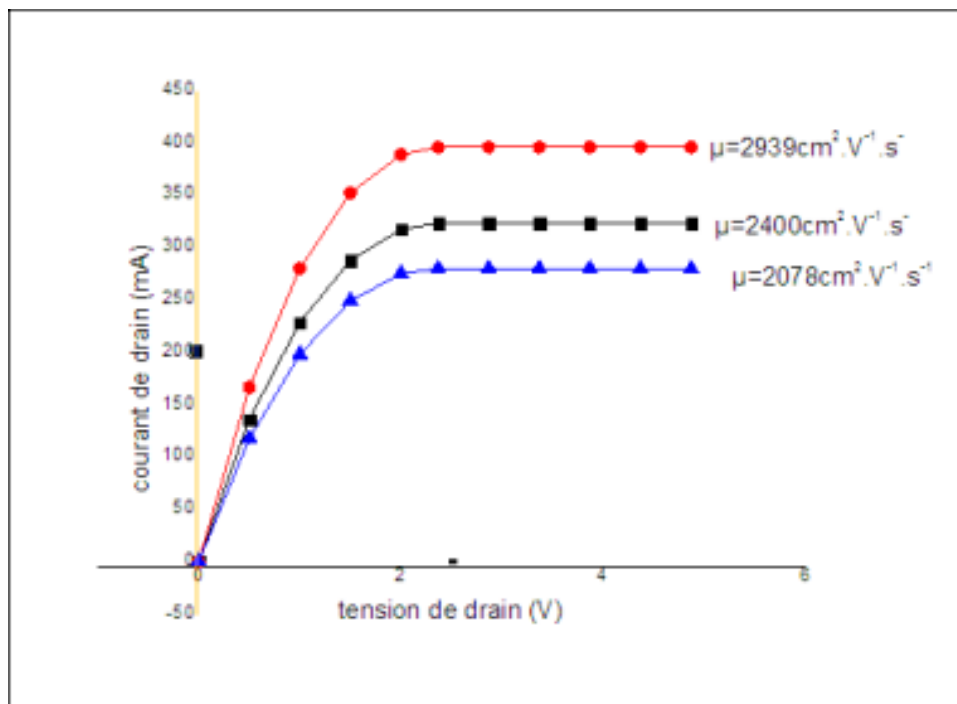


Figure III.9: Variations de la caractéristique I-V pour différentes valeurs de la mobilité pour le MESFET 2

Nous constatons une augmentation du courant avec l'augmentation de la mobilité des porteurs de la couche active du transistor du à une augmentation de la conductivité des porteurs.

III.3.6. MOBILITE DES PORTEURS EN FONCTION DU CHAMP ELECTRIQUE

L'hypothèse de la mobilité constante indépendante du champ électrique que nous avons utilisé pour la résolution des équations fondamentales pour obtenir les caractéristiques statiques ne peut pas traduire les phénomènes physiques spécifiques internes au composant MESFET GaAs. Aussi nous avons utilisé deux expressions empiriques ci-dessous [...] qui traduisent l'effet du champ électrique sur la mobilité. A ce jour il n'existe pas de loi de la mobilité en fonction du champ électrique pour le matériau arséniure de gallium.

$$\mu_n = \frac{\mu_0}{\sqrt{1 + \left(\frac{E - E_0}{E_c}\right)^2}} \quad (\text{III-1})$$

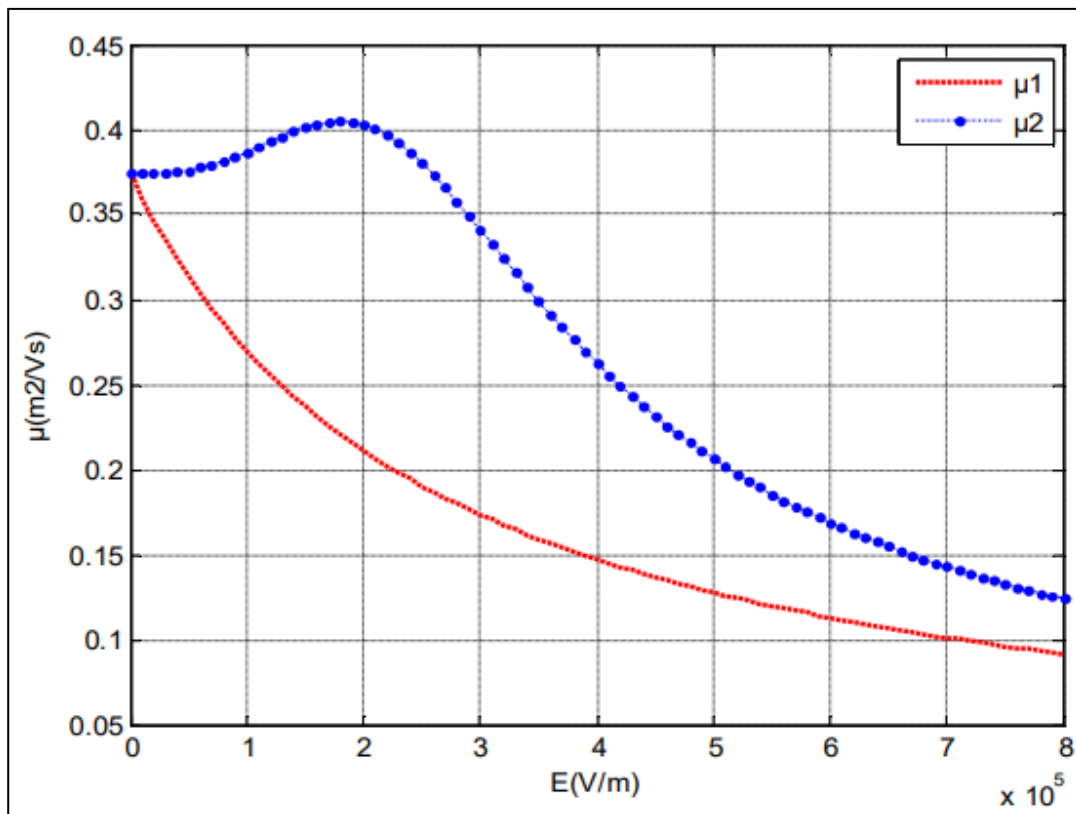


Figure III.10 : Variations de la mobilité des électrons en fonction du champ électrique pour le MESFET 1

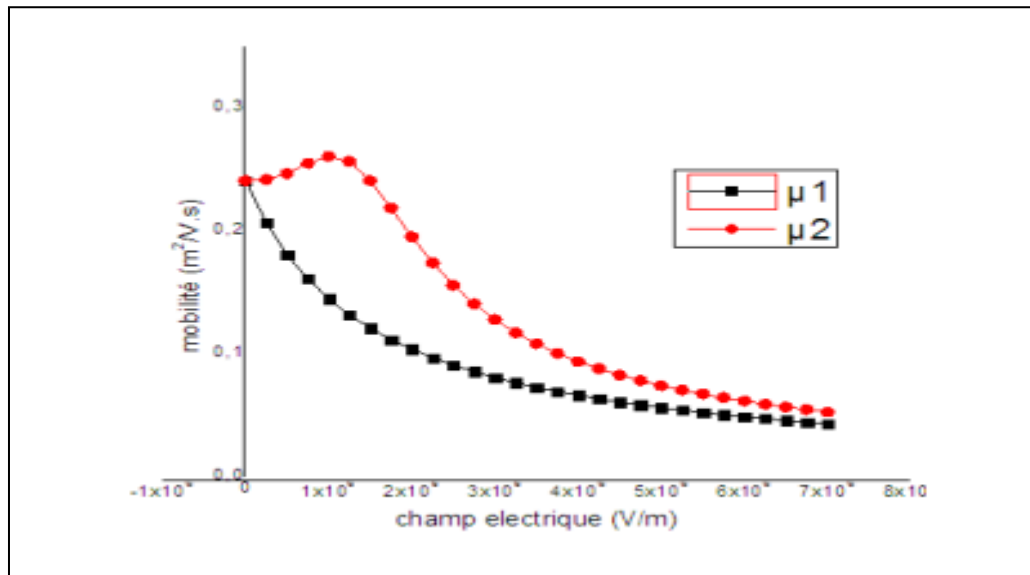


Figure III.11 : Variations de la mobilité des électrons en fonction du champ électrique pour le MESFET 2

On constate que la mobilité diminue avec l'augmentation du champ électrique, les porteurs sont accélérés sous ce champ et ils sont interceptés avec les atomes du matériau et leur mobilité diminue. Au régime de pincement et de saturation l'hypothèse de mobilité constante n'explique pas les phénomènes physiques.

III.3.7. VITESSE DES PORTEURS EN FONCTION DU CHAMP ELECTRIQUE

La figure III-12 présente la variation de la vitesse des électrons en fonction du champ électrique à la température ambiante pour le MESFET 1

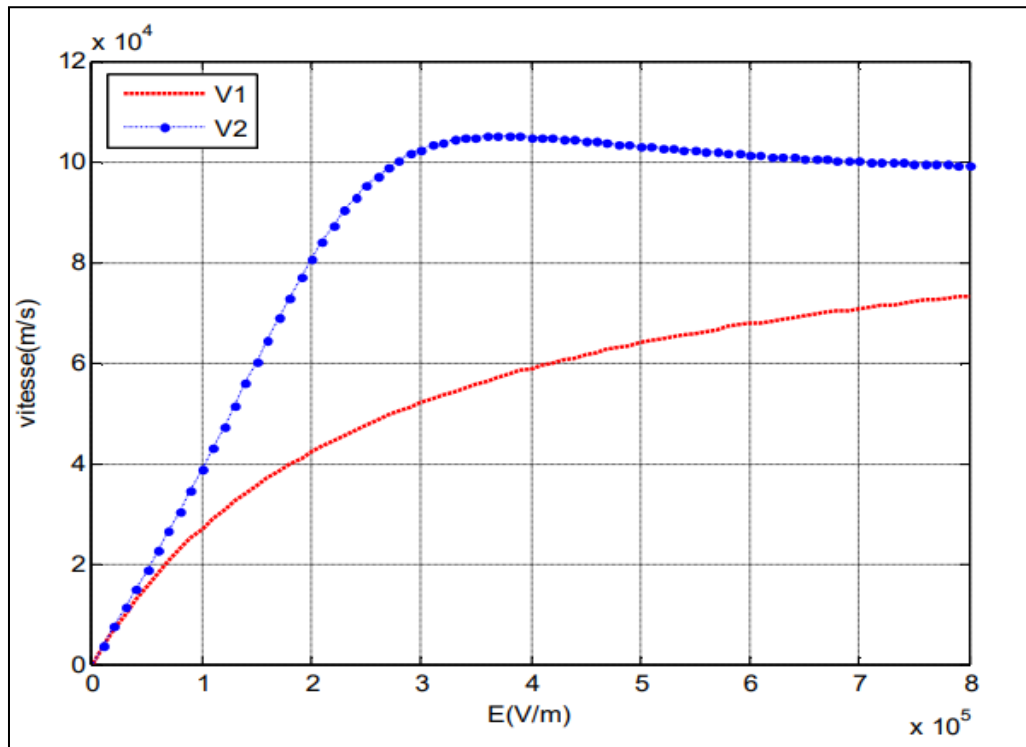


Figure III.12 : Variation de la vitesse des électrons en fonction du champ électrique pour le MESFET1

Sur cette figure, nous constatons que la vitesse des porteurs présente une valeur maximale pour une valeur de seuil du champ électrique notée E_s . La valeur du champ électrique, pour laquelle se produit la saturation de la vitesse des électrons, est très importante puisqu'elle traduit les phénomènes d'accélération des porteurs jusqu'au régime de saturation.

III-4 EFFET DE LA TEMPERATURE

Nous présentons sur les figures suivantes l'influence de la température sur les caractéristiques (I-V) des transistors ainsi que sur la mobilité et la vitesse des porteurs.

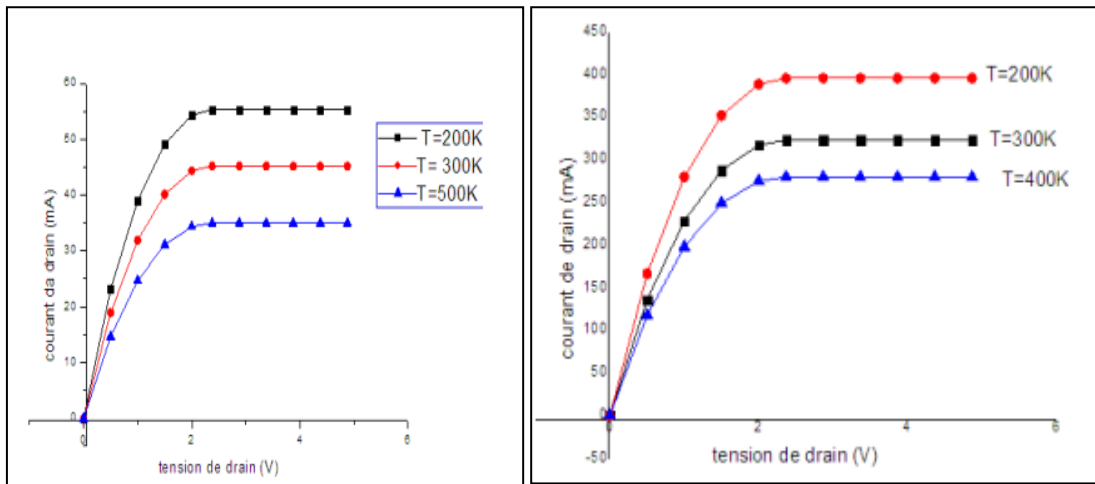


Figure III.13 :Figure III- 13 Caractéristiques I-V en fonction de la température pour les composants d'étude

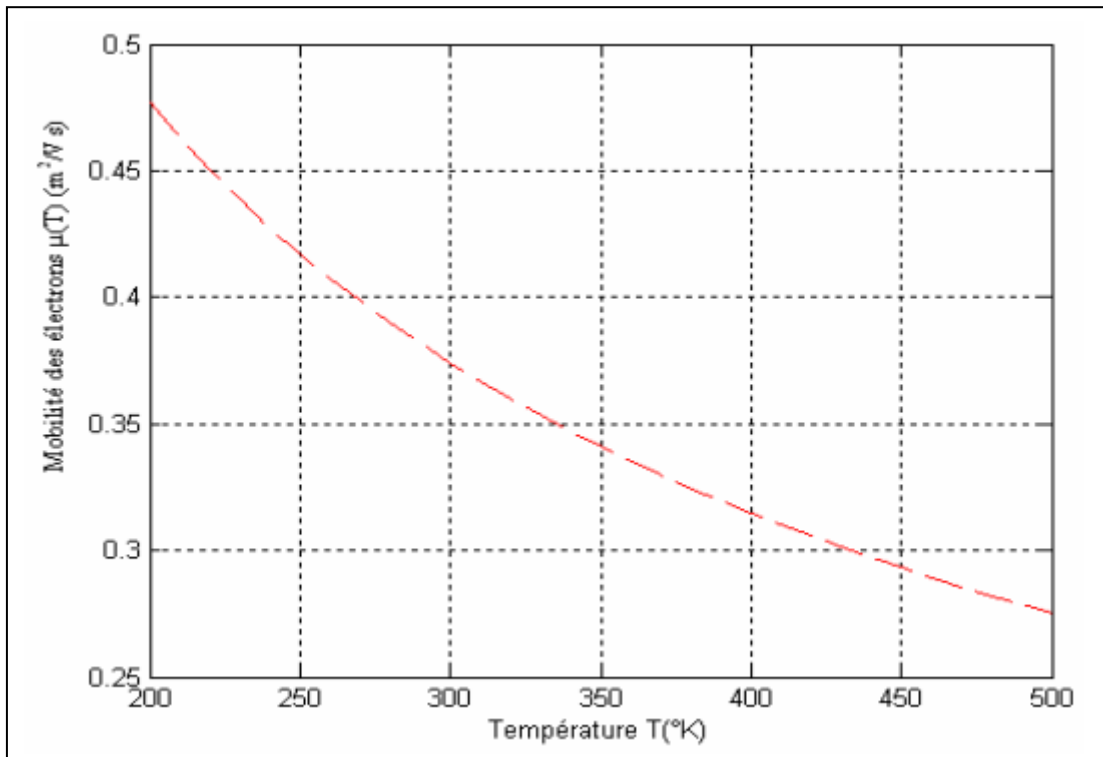


Figure III.14 : Variation de la mobilité en fonction de la température

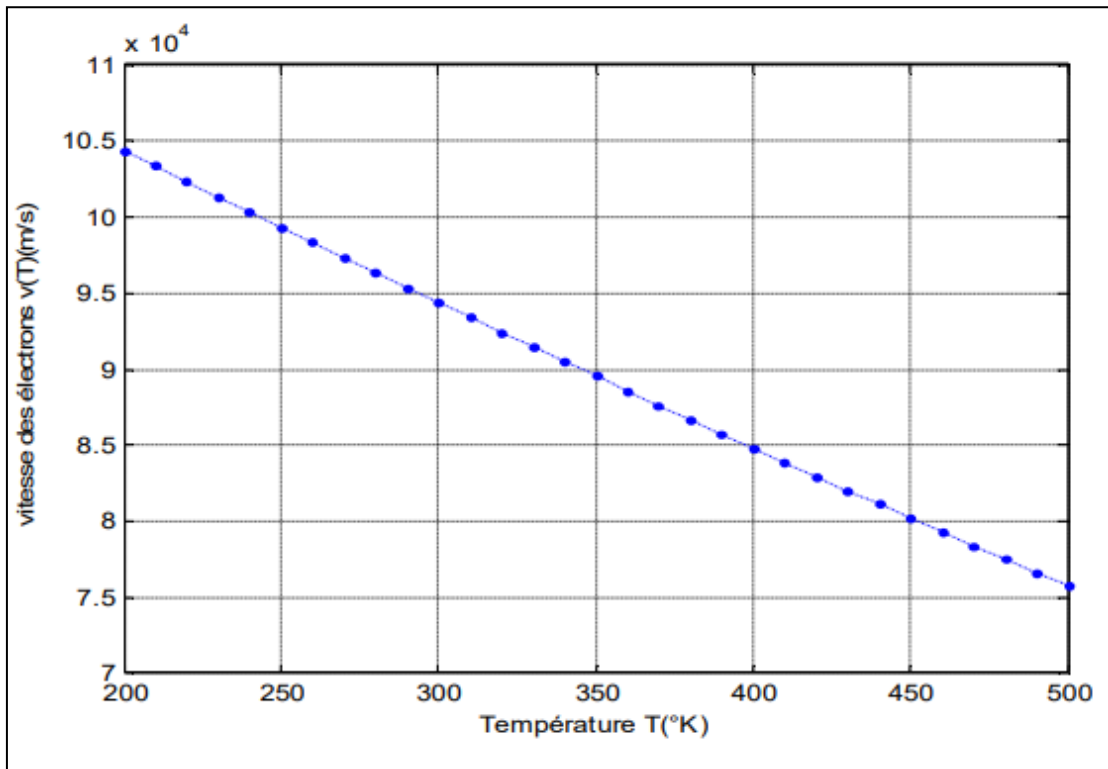


Figure III.15: Variations de la vitesse en fonction de la température

D'après ces figures, nous constatons que les performances des transistors sont fortement influencées par la température. La conduction le long du canal due aux porteurs majoritaires est modifiée par la température à cause de la variation de certains paramètres tels que la mobilité des porteurs et la vitesse de saturation. Si la température augmente l'agitation thermique augmente et par conséquent la mobilité diminue [...] car elle est inversement proportionnelle à la température ce qui provoque une diminution du courant de drain (relation II-33).

IV. CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons présenté l'ensemble des résultats numériques obtenus sur deux composants d'étude à partir d'un logiciel de simulation établi en langage MATLAB. Les résultats obtenus concernent les caractéristiques statiques courant-tensions des transistors. L'influence des paramètres géométriques et physiques ainsi que la température sur les performances des composants ont été présentés.



Conclusion

Générale

CONCLUSION GENERALE

L'objectif de ce mémoire est l'étude des propriétés statiques du transistor à effet de champ à l'arséniure de gallium dit MESFET GaAs. Les trois chapitres présentent l'ensemble de notre contribution.

Dans le premier chapitre, nous avons présenté une synthèse bibliographique des composants à effet de champ. Nous avons présenté la structure et le principe de fonctionnement des composants à effet de champ de type JFET, MOSFET, MESFET et HEMT. Une attention particulière est accordée au transistor MESFET GaAs qui est notre composant d'étude.

Au deuxième chapitre nous avons tout d'abord présenté un rappel des propriétés des matériaux III-V. Ensuite les propriétés physiques et électroniques du matériau arséniure de gallium ont été développées en précisant les avantages et les inconvénients du GaAs. Une analyse analytique, en précisant les différentes hypothèses de départ, nous a permis de définir l'ensemble des équations qui régissent le fonctionnement du composant. Nous avons mis en évidence l'influence des paramètres physiques et géométriques sur les caractéristiques du courant suivant les différents régimes de fonctionnement en régime linéaire et de saturation. Les effets thermiques ont été précisés à partir de la dépendance de la mobilité des porteurs.

Au troisième chapitre nous avons présenté les résultats obtenus pour deux composants d'étude micronique et submicronique à l'aide d'une simulation numérique en langage MATLAB. Il ressort que les performances du composant MESFET GaAs peuvent être améliorées avec la diminution de la longueur de la grille, l'augmentation de la largeur de la grille, de l'épaisseur de la zone active, de l'augmentation du dopage ainsi que de la mobilité des porteurs. La température est un paramètre très important dans l'étude des composants à semi-conducteur et doit être pris en considération pour l'optimisation des performances des composants.

Finalement, la possibilité de réduire encore plus dans le futur les dimensions des composants électroniques nous semble dépendre au moins autant de la maîtrise de la technologie de réalisation de ces composants que de la possibilité de bien contrôler l'ensemble des phénomènes associés aux propriétés du composant. Cette analyse a montré que le MESFET GaAs est le composant à effet de champ prépondérant pour l'amplification de puissance microonde. En effet, l'étude des propriétés de transport électronique de l'Arséniure de Gallium a prouvé que la mobilité et la vitesse des électrons du GaAs le

qualifient comme matériau de haute fréquence. Ce travail est bien adapté au traitement numérique et sera d'un apport considérable pour la conception par ordinateur des circuits logiques et analogiques à base de MESFET GaAs.



Références

Bibliographiques

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] : Laribi Djamila, CONTRIBUTION A L'ETUDE DES PROPRIETES STATIQUES UNIDMENSIONNELLES DU MESFET GaAs ,thèse de magistère, UNIVERSITE DE BOUIRA,2017.
- [2] : C.A. Mead "Schottky barrier gate field – effect transistor "
- [3] :w.w. Hooper and w. l. lehrer «an epitaxial GaAs field effect transistor
- [4]: S.M. Sze "physics of semiconductor devices and technology", New York: john wiley, 2nd Edition 1981.
- [5] : Nicolas Dubuc, Modélisation Electrothermique de transistors MESFET SiC et optimisation d'une architecture Doherty pour l'amplification de puissance à haut rendement, Thèse doctorat d'état, Université de Limoges, 2003.
- [6] : Olivier VANBESIEN "Modèles linéaires et non linéaires des composants actifs pour la CAO. Hyperfréquences", Cours DESS, septembre 2003.
- [7]: Renuka P. Jindal, Compact Noise Models for MOSFETs, IEEE Transactions On Electron Devices, Vol. 53, NO. 9, SEPTEMBER 2006.
- [8]: Noor Muhammad Memon, Modeling Techniques of SubmicronGaAsMESFETs and HEMTs, Thèse doctorat, Université de Islamabad, 2008.
- [9]: HamiehYouness, Caractérisation et modélisation du transistor JFET en SiC à haute température, Thèse de doctorat, INSA de Lyon, 2011.
- [10] : Fabrice. Sincère, COURS: Les transistors à effet de champ JFET, <http://perso.orange.fr/fabrice.sincere>
- [11] : <http://dSPACE.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/1083/7/chapitre1.pdf>
- [12] : Bensegueni Rachida, Contribution à l'étude du transport électrique à travers des oxydes très minces
- [13]: Mellal Saida, Influence des paramètres physiques et géométriques du transistor à effet de champ MESFET GaAs, Thèse de magister, Université Larbi ben M'hidi Oum El Bouaghi, 2008.

[14]: FAYCAL DJEFFAL "Modélisation et simulation prédictive du transistor MOSFET fortement submicronique, Application à la conception des dispositifs Intégrés" Thèse de doctorat, Université de Batna, 2006.

[15]: Khemissi Saadeddine, Modélisation non linéaire des composants à effet de champ, Thèse de doctorat, Université Frères Mentouri Constantine, 2009.

[16]: Christopher M Snowden, MESFET Modelling, Université de Leeds, 1993.

[17]: Cheriet Abderrahmane, Etude des propriétés des transistors à effet de champ MESFET GaAs, Thèse de Magistère, université Larbi Ben M'hidi Oum El Bouaghi, 2010.

[18]: Aurélien Olivier, Fabrication et caractérisation des transistors à effet de champ de la filière III-V pour des applications basse consommation, Thèse de doctorat, l'Université de LILLE 1, 2010.

[19]: Bechiri Abderrachid, Effet du désordre et du substrat sur la structure électronique dans les alliages semi conducteur III-V, Thèse de doctorat d'état, Université Frères Mentouri Constantine, 2006.

[20]:

Mohamed Amir ABDI, "Modélisation de l'inverse de la pente sous seuil de transistor FET nanométriques" Mémoire de magister, Université de Batna, 2006

[21]: aminaboudjadi, ETUDE DES PROPRIETES STATIQUES DU TRANSISTOR A EFFET DE CHAMP MESFET GaAs, Thèse de magister, Université laarbi bel elmhidioum embouaghi. 2021

[22]: aissaoui el khamssa, ETUDE DES PROPRIETES STATIQUES DU TRANSISTOR A EFFET DE CHAMP MESFET GaAs, thèse de magistère, UNIVERSITE LARBI BEN M'HIDI (OUM EL BOUAGHI), 2021

[23]: Guiza Douadi, Analyse des transistors à effet de champ MESFET GaAs, Thèse de magister, Université de Constantine, 2009.

[24]: Saoudi Amel, Benkharif Halima, Etude des caractéristiques électriques I(V) du transistor MESFET à base de GaAs, mémoire de master, Université Mohamed Boudiaf - M'SILA, 2019.

- [25]: MarkiRebiha, Analyse des transistors à effet de champ MESFET GaAs, Thèse de Magistère, université Larbi Ben M'hidi Oum El Bouaghi, 2010.
- [26]: Aouadi Sonia, Laribi Djamila, Contribution à l'étude des propriétés bidimensionnelles des Composants à effet de champs MESFET GaAs, mémoire de master, Université de Bouira, 2017.
- [27]: Z. Fares, Y. Saidi, W. Aliouat, Effect of temperature on (IV) statics characteristics of GaAs MESFET, University Mentouri Constantine, 2018.
- [28]: Hamlaoui Saliha" L'influence de la température sur les propriétés statiques du MESFET GaAs "mémoire de master, Université Larbi Ben M'hidi Oum El Bouaghi, 2013.
- [29]: T Ytterdal , M Hurt , M Shur , H.Park , Tsai and W.C.B Peatman, High- temperature characteristics of two dimensional MESFETs, University of Virginia, IEEE Elect . Dev .lett ,vol 17n° 5 pp 214 -216 May 1966.
- [30]: T.A. Fjedly .T. Yterdal, M. S. Shur«Introduction to device modeling and circuit» New York, Wiley, 1998.