

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITÉ CHADLI BENDJEDID - EL TARF



جامعة الشاذلي بن جديد-الطارف

FACULTÉ DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE  
DÉPARTEMENT DE PHYSIQUE

# MÉMOIRE DE MASTER

DOMAINE : SCIENCE DE LA MATIÈRE

FILIÈRE : Physique

OPTION : Physique des Matériaux

## Thème

*Investigation de l'auto-échauffement d'un MESFET  
GaAs via la dispersion de la conductance de sortie*

Présenté par :  
Ines CHAREF

Dirigé par :  
Fatima Zohra KHELIFATI

### Jury de soutenance :

|                        |                |      |                      |
|------------------------|----------------|------|----------------------|
| DEBOUB Salima          | Présidente     | MCB  | Université - El Tarf |
| KHELIFATI Fatima Zohra | Rapporteur     | MCB  | Université -El Tarf  |
| TAGUIDA Nesrine        | Co- Rapporteur | Doct | Université -El Tarf  |
| BENAISSA Sihem         | Éxaminatrice   | MCB  | Université -El Tarf  |

Année Universitaire : 2021/2022

# Dédicace

À...

*Ceux qui me sont les plus chers au monde, dont l'amour  
Et les sacrifices n'ont pas cessé de combler ma vie,  
Ceux qui m'ont encouragée et soutenue pendant les  
Moments les plus difficiles et durant toute ma vie et  
M'ont donnée la possibilité d'arriver là où je suis  
**Mon très cher père & Ma très chère mère**  
Que dieu les protège et les garde pour moi*

***Mon cher frère (Kheireddine) et mes chères sœurs**  
(Assia, Lamya, Radhia)*

*Toute ma famille*

*Tous les amis durant mes années d'études*

*À tous ceux qui ont sacrifié leur temps pour  
La science et à tous ceux qui ont utilisé la science  
Pour le bien et la prospérité de l'humanité*

***Nous dédions ce travail***



## *Remerciement*

*Avant tout, nous tenons à remercier « DIEU » qui illuminé notre chemin et qui nous a armé de courage et de la volonté durant ces longues années d'études et pour réaliser ce travail.*

*J'adresse mes vifs remerciements à Docteur **KHELIFATI Fatima Zohra**, Maitre de conférences classe B à l'Université Chadli Bendjedid El-Tarf, pour avoir accepté de m'encadrer et de m'accompagner sur tout le long de ce travail et sans elle ce dernier n'aurait pas existé. Ses compétences scientifiques et sa disponibilité, ses conseils et ses qualités humaines m'ont permis de mener à bien ce travail.*

*Je suis très honorée que Docteur **DEBBOUB Salima**, Maitre de conférences classe B à l'Université Chadli Bendjedid El-Tarf, a accepté la présidence de jury de ce travail, qu'elle trouve ici l'expression de ma sincère gratitude.*

*Je suis très honorée également que, Docteur **BENAISSA Sihem**, Maitre de conférences classe B à l'Université Chadli Bendjedid El-Tarf, a accepté de juger ce travail, qu'elle trouve ici l'expression de ma sincère gratitude.*

*Enfin je ne pourrais terminer sans remercier très chaleureusement tous ceux qui ont largement contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail et qui me supportent depuis de nombreuses années, et surtout : ma famille, mes enseignants et mes amis.*

*« J'aime la physique de tout mon cœur, c'est comme l'amour que nous avons pour les gens dont nous sommes reconnaissants dans nos vies »*

*Lise Meitner.*



## ملخص

تشكل ظاهرة تشتت أو تبدد التردد لموصلية الخروج و التسخين الذاتي عائقاً أمام تطوير الدارات المتكاملة المنطقية أو الرقمية ، التي تعتمد أساساً على ترانزستور التأثير المجالي ذو بوابة شوتكي ونصف ناقل زرنينخ الغاليوم MESHET GaAs ، اهتمت هذه الدراسة بمقارنة نتائج تجريبية وأخرى نظرية للتبدد الترددي لموصلة الخروج  $g_d$  المعتمدة على نموذج Canfield et al. لنحدد بعدها درجة الحرارة المثلى وتسمى أيضاً درجة حرارة تشغيل الترانزستور المقابلة لأفضل توافق بين النتائج التجريبية و النظرية. وتتعلق هذه الدرجة أساساً بجهد المصرف وجهد البوابة  $V_{gs}$  بحيث التزايد في قيم  $V_{gs}$  يؤدي إلى انخفاضها. حيث تمت هذه الدراسة في مجال الترددات [100 KHz – 0.01KHz] على نوعين من الترانزستورات ذات التأثير المجالي ذو بوابة شوتكي. بعد تفسير ومناقشة النتائج التجريبية والنظرية التي تم الحصول عليها في دراسات مختلفة، يمكننا أن نستنتج أن هناك علاقة وثيقة بين شروط استقطاب MESHET GaAs ودرجة حرارة التشغيل.

**الكلمات المفتاحية:** MESHET GaAs ، موصلية الخروج ، تبدد ترددي ، درجة حرارة التشغيل.

## Abstract

The phenomenon of frequency dispersion of the output conductance and self-heating constitute an obstacle to the development of logic or digital integrated circuits, which is mainly based on Schottky gate field effect transistors based on Gallium Arsenide, MESFET GaAs, this study aimed to compare the experimental and theoretical results of the frequency dispersion of the output conductance,  $g_d$ , the theoretical results based on the model of Canfield et al. We then determine the optimum temperature, also called the operating temperature of the transistor, corresponding to the best agreement between the experimental results and the theoretical ones. This temperature is mainly related to the drain-source voltage  $V_{ds}$  and the gate-source voltage,  $V_{gs}$ , so that the increase in  $|V_{gs}|$  induces its decrease. This study was performed in the frequency range [0.01 KHz - 100 KHz] on two types of Schottky Gate Field Effect Transistors, GaAs MESFET. After interpreting and discussing the experimental and theoretical results obtained in different polarizations, we can conclude that there is a close relationship between the polarization conditions and the operating temperature.

**Key words:** GaAs MESFET, output conductance, frequency dispersion, operating temperature.

## Résumé

Le phénomène de la dispersion fréquentielle de la conductance de sortie et l'auto-échauffement constituent un obstacle au développement des circuits intégrés logiques ou numériques, qui repose principalement sur les transistors à effet de champ à grille Schottky à base d'arséniure de galium, MESFET GaAs, cette étude visait à comparer les résultats expérimentaux et théoriques de la dispersion fréquentielle de la conductance de sortie,  $g_d$ , les résultats théoriques basé sur le modèle de Canfield et al. Déterminons ensuite la température optimale, encore appelée température de fonctionnement du transistor, correspondant au meilleur accord entre les résultats expérimentaux et celle théoriques. Cette température est principalement lié à la tension drain-source  $V_{ds}$  et à la tension grille-source,  $V_{gs}$ , de sorte que l'augmentation de  $|V_{gs}|$  induit sa décroissance. Cette étude a été réalisée dans la gamme de fréquences [0,01 KHz - 100 KHz] sur deux types de transistors à effet de champ à grille Schottky, MESFET GaAs. Après avoir interprété et discuté les résultats expérimentaux et théoriques obtenus dans différentes polarisations, nous pouvons conclure qu'il existe une relation étroite entre les conditions de polarisation et la température de fonctionnement.

**Mots clés :** MESFET GaAs, Conductance de sortie, Dispersion fréquentielle, température de fonctionnement.

## ***LISTE DES FIGURES***

| <b><i>Figure</i></b> | <b><i>Titre</i></b>   | <b><i>page</i></b> |
|----------------------|---|--------------------|
| <i>Figure I-1</i>    | <i>(a) cristal du GaAs<br/>(b) Maille cristalline du GaAs</i>   | 5                  |
| <i>Figure I-2</i>    | <i>Influence des propriétés des matériaux sur les performances du composant</i>   | 7                  |
| <i>Figure I-3</i>    | <i>Vue en coupe du MESFET GaAs implanté auto-aligné</i>   | 8                  |
| <i>Figure I-4</i>    | <i>Principe de fonctionnement du MESFET GaAs</i>  | 9                  |
| <i>Figure I-5</i>    | <i>Principe de fonctionnement du MESFET GaAs à différentes valeurs de <math>V_{ds}</math> avec <math>V_{gs} \leq 0</math> V</i> | 10                 |

\* \* \* \* \*

|                    |   |    |
|--------------------|---|----|
| <i>Figure II-1</i> | <i>Variation de la transconductance en fonction de la fréquence pour plusieurs MESFETs GaAs Submicroniques.</i>                                 | 16 |
| <i>Figure II-2</i> | <i>Transconductance en fonction de la fréquence à différentes valeurs de <math>V_{ds}</math></i>  | 17 |
| <i>Figure II-3</i> | <i>Conductance de sortie en fonction de la fréquence à <math>V_{ds}=3</math> V et <math>V_{gs}=0</math> V</i>                                   | 18 |
| <i>Figure II-4</i> | <i>Comparaison entre résultats expérimentaux (▪ • X) et le modèle de Canfiled (—) pour <math>V_{ds}=3</math> V et <math>V_{gs}=0.2</math> V</i> | 26 |

\* \* \* \* \*

|              |   |    |
|--------------|---|----|
| Figure III-1 | Variations de $ g_a(f)/g_a(dc) $ en fonction de la fréquence théorie (—) et expérimentale (▪) à $V_{ds} = 1\text{ V}$ et $ V_{gs}  = 0.2\text{ V}$                                | 31 |
| Figure III-2 | Variations de $ g_a(f)/g_a(dc) $ en fonction de la fréquence théorie (—) et expérimentale (▪) à $V_{ds} = 1\text{ V}$ et $ V_{gs}  = 0.35\text{ V}$                               | 31 |
| Figure III-3 | Variations de $ g_a(f)/g_a(dc) $ en fonction de la fréquence théorie (—) et expérimentale (▪) à $V_{ds} = 1\text{ V}$ et $ V_{gs}  = 0.45$ et $0.6\text{ V}$                      | 33 |
| Figure III-4 | Variation de la température interne du composant en fonction de $ V_{gs} $  | 34 |
| Figure III-5 | Variations de $ g_a(f)/g_a(dc) $ en fonction de la fréquence théorie (—) et expérimentale (▪) à $V_{ds} = 1\text{ V}$ et $ V_{gs}  = 0.2, 0.3, 0.35, 0.4, 0.45$ et $0.6\text{ V}$ | 36 |
| Figure III-6 | Variation de la température interne (ou de fonctionnement) du composant en fonction de $ V_{gs} $ pour (MGF 50)   | 37 |
| Figure III-7 | Variations de $ g_a(f)/g_a(dc) $ en fonction de la fréquence théorie (—) et expérimentale (▪) à $V_{ds} = 1.5\text{ V}$ et $ V_{gs}  = 0.2, 0.45$ et $0.6\text{ V}$               | 39 |
| Figure III-8 | Variation de la température interne (ou de fonctionnement) du composant en fonction de $ V_{gs} $ pour (MGF 50)   | 40 |

\*\*\*\*\*

## ***LISTE DES TABLEAUX***

| <b><i>Tableau</i></b> | <b><i>Titre</i></b>   | <b><i>page</i></b> |
|-----------------------|---|--------------------|
| <i>Tableau I-1</i>    | <i>Comparaison entre les principaux Paramètres<br/>du Si et GaAs.</i> | 4                  |
| <i>Tableau I-2</i>    | <i>Données numériques du l'arséniure de gallium<br/>GaAs à 300 K.</i> | 6                  |
| <i>Tableau I-3</i>    | <i>Amélioration des structures du MESFET.</i>                         | 13                 |

\*\*\*\*\*

## ***LISTE DES SYMBOLES***

|            |   |
|------------|---|
| a          | Épaisseur du canal                      |
| A          | Profondeur efficace du canal            |
| $C_{gd}$   | Capacité grille-drain                   |
| $C_{gs}$   | Capacité grille-source                  |
| $E_g$      | Gap                                     |
| $f_c$      | Fréquence caractéristique des pièges    |
| $g_d$      | Conductance de sortie                   |
| $g_d$ (dc) | Conductance de sortie à basse fréquence |
| $g_d$ (Hf) | Conductance de sortie à haute fréquence |
| $g_m$      | Transconductance                        |
| $I_{ds}$   | Courant de drain-source                 |
| $I_{diss}$ | Courant de saturation                   |
| $I_p$      | Courant de pincement                    |
| $I_{sub}$  | Courant de substrat                     |
| K          | Conductivité thermique                  |
| k          | Constante de Boltzmann                  |
| $K_{eff}$  | Conductivité thermique efficace         |

|              |   |
|--------------|---|
| $L_g$        | Longueur de grille                                      |
| $L_{GS}$     | Distance entre la grille et la source                   |
| $L_z$        | Largeur de grille                                       |
| $N_c$        | Densité effective des états dans la bande de conduction |
| $P_{diss}$   | Puissance dissipé                                       |
| $R_{ds}$     | Résistance de sortie                                    |
| $T_C$        | Température du composant                                |
| $t_{sub}$    | Épaisseur de substrat                                   |
| $T_{sub}$    | Température au fond du substrat                         |
| $V_{ds}$     | Tension drain-source                                    |
| $V_{eff}$    | Tension grille-source efficace                          |
| $V_{gs}$     | Tension grille-source                                   |
| $V_p$        | Tension de pincement                                    |
| $v_{sat}$    | Vitesse de saturation                                   |
| $V_T$        | Tension de seuil  |
| $v_{th}$     | Vitesse thermique                                       |
| $\Delta T_1$ | Différence de la température entre canal et autre coté  |
| $\mu$        | Mobilité  |
| $\tau_e$     | Constante de temps                                      |

## ***TABLE DES MATIÈRES***

|  |     |
|--|-----|
| <b>Liste des figures</b> .....   | i   |
| <b>Liste des tableaux</b> .....  | iii |
| <b>Liste des symboles</b> .....  | iv  |
| <b>Introduction générale</b> .....   | 1   |
| <b>Chapitre I: Transistor à effet de champ MESFET GaAs</b>   |     |
| <b>I-1 Introduction</b> .....  | 3   |
| <b>I.2. Arséniure de gallium GaAs</b> .....  | 4   |
| I.2.1. Définition .....  | 4   |
| 1.2.2 Propriétés électroniques du GaAs .....   | 5   |
| I.2.3 Influence des propriétés des matériaux sur les performances des composants électroniques ..... | 6   |
| <b>I.3. Transistor à effet de champ, MESFET</b> .....  | 7   |
| I.3.1. Structure .....   | 8   |
| I.3.2 Principe de fonctionnement .....   | 9   |
| I.3.3 Amélioration de la structure du MESFET .....   | 11  |
| I.3.3.1 MESFET à grille creusé .....   | 11  |
| I.3.3.2 MESFET à grille champignon .....   | 11  |
| I.3.3.3 MESFET en structure LDD .....  | 12  |

|   |           |
|---|-----------|
| I.3.3.4 MESFET à grille divisée en plusieurs doigts.....  | 12        |
| <b>I.4 Conclusion.....</b>  | <b>14</b> |
| <b>Chapitre II : Dispersion fréquentielle de <math>g_d</math> &amp; les effets thermiques des MESFET GaAs</b> |           |
| <b>II.1 Introduction.....</b>   | <b>15</b> |
| <b>II.2 Anomalies basses fréquences.....</b>  | <b>16</b> |
| II.2.1 Dispersion fréquentielle de la transconductance .....  | 16        |
| II.2.2 Dispersion fréquentielle de la conductance de sortie .....   | 18        |
| <b>II.3 Les effets thermiques des MESFET GaAs.....</b>  | <b>20</b> |
| II.3.1 Influence de la température sur les paramètres physiques du GaA .....                                  | 20        |
| II.3.1.1 Influence sur le gap .....   | 20        |
| II.3.1.2 Influence Sur la mobilité $\mu$ .....  | 20        |
| II.3.1.3 Influence sur la conductivité thermique.....   | 21        |
| II.3.2 Auto-échauffement dans les MESFETs GaAs.....   | 21        |
| II.3.2.1 Influence de l’auto-échauffement sur la conductance de sortie .....                                  | 21        |
| II.3.2.2 Variation de la conductance de sortie avec la fréquence et la température .....                      | 24        |
| <b>II. 4 Conclusion.....</b>  | <b>27</b> |
| <b>Chapitre III : Détermination de la température interne d’un MESFET GaAs via <math>g_d(f)</math></b>        |           |
| <b>III-1 Introduction.....</b>  | <b>28</b> |
| <b>III.2 Méthodologie de travail.....</b>   | <b>29</b> |
| III.2.1 Principe.....   | 29        |
| III.2.2. Transistor MGF 30 .....  | 30        |
| III.2.2.a. Étude à tension grille-source $ V_{gs} =0,2V$ .....  | 30        |
| III.2.2.b. Étude à tension grille-source $ V_{gs} =0,35V$ .....   | 30        |
| III.2.2.c Étude à d’autres tensions grille-source $V_{gs}$ .....  | 32        |
| III.2.3. Transistor MGF 50 .....  | 34        |
| III.2.3.a. Étude à tension drain-source $V_{ds} = 1V$ et déférente polarisation grille-source....             | 34        |

|  |    |
|--|----|
| III.2.3.b. Étude à tension drain-source $V_{ds} = 1.5 \text{ V}$ ..... | 37 |
| <b>III.3 Conclusion</b> .....  | 41 |
| <b>Conclusion Générale</b> .....                                       | 42 |
| <b>Références bibliographiques</b> .....                               | 44 |

## Introduction Générale

Les semi-conducteurs de composés III-V ont été développés particulièrement pour des applications en composants de grande vitesse [1]. Celle-ci consiste en une association de matériaux de type III et de matériaux de type V tel que l'arséniure de gallium noté « GaAs », c'est-à-dire une nouvelle catégorie de filières dites « large bande interdite » des semi-conducteurs est venue compléter une gamme déjà large des technologies utilisées pour les capteurs, l'optique, l'électronique de puissance et pour l'électronique en hautes fréquences [2,3].

Le bon fonctionnement des circuits électroniques complexes suppose l'intégration de nombreux composants, une manipulation de l'information sans dégradation, des taux d'erreurs par composant réduits, des possibilités de corriger les erreurs restantes, une bonne fiabilité d'un ensemble de milliards de composants élémentaires, des taux de défauts à la fabrication extrêmement faibles [4]. L'un de ces composants qui réalise ce besoin c'est le transistor à effet de champ à grille Schottky sur l'arséniure de gallium dit « MESFET GaAs », qui jouent un rôle prépondérant dans la technologie microonde, aussi bien comme élément discret comme incorporé dans les circuits intégrés [5]. Ils peuvent être utilisés dans les circuits de petits signaux et dans les amplificateurs de puissance (Oscillateur, Commutateur, Mixeur, Atténuateur), ce qui lui permet de constituer l'élément principal dans les ordinateurs modernes surtout dans les mémoires RAM [5,6], tout ça grâce à son bonne performance tel

que : faible bruit, capacité d'opérer dans de large gamme de température [1], il est également fonctionne efficacement dans la bande fréquentielle allant du quelques gigahertz à la centaine du gigahertz [7,8].

Cependant, ces dispositifs présentent parfois des anomalies qui entravent ses bonnes performances lorsqu'ils fonctionnent en basse fréquence telle que la dispersion fréquentielle de la conductance de Sortie, celle de la transconductance, la capacité de sortie et d'entrée [1,9]. Ces anomalies rendent la compréhension des propriétés de ces composants plus complexe et apportent quelques perturbations dans la conception des circuits intégrés (IC's) [5,10,11]. Également le fonctionnement de ce transistor est perturbé par l'effet d'auto-échauffement (self-heating) qui est un phénomène physique inévitable dans la plupart des circuits électroniques dû à l'effet Joule [3]. Cet auto-échauffement est responsable à la dégradation des propriétés de transport des matériaux et donc la dégradation de ses performances [3,12].

L'objectif de notre travail est la détermination de la température interne ou la température du MESFET GaAs via la dispersion fréquentielle de la conductance de sortie à différentes polarisation. Notre mémoire est structuré en trois chapitres.

Le premier chapitre est consacré en détail l'arséniure de gallium, ces propriétés électroniques, et l'influence des propriétés des matériaux sur les performances des composants électroniques, ainsi que, le transistor à effet de champ , sa structure, et principe de fonctionnement , en fin l'amélioration de la structure de ce composant.

En deuxième chapitre, nous présentons la dispersion basse fréquence de la transconductance, la conductance de sortie et ses origines. Aussi, l'effet thermique dans le MESFET GaAs. Finalement, nous présentons plus en détail l'influence de température sur la conductance de sortie qui sera soutenue par un modèle analytique.

Dans le troisième chapitre, nous présentons une étude comparative entre des résultats expérimentaux et d'autres théoriques de la dispersion fréquentielle de la conductance de sortie  $g_d$ . À partir de cette étude, nous déterminons la température optimale correspondante à la meilleure conformité entre nos résultats expérimentaux et théoriques.

# Chapitre I

## Transistor à effet de champ MESFET GaAs

### I.1. Introduction

Aujourd'hui, les transistors à effet de champ à base des semi-conducteurs ont reçus une très grande attention en particulier en raison de son application dans les systèmes hautes fréquences et de puissances. Également, ils constituent sans doute la plus large part de l'activité microélectronique moderne [1]. Dans ce secteur, un très large effort s'est concentré sur les composants unipolaires, ce sont les composants qui ne reposent que sur le transport d'un seul type de porteurs. Parmi ces importants composants « les MESFETs GaAs » ; sont largement utilisés dans les circuits intégrés microonde monolithique (MMICs), car ils ont de bonnes performances tel que: faible bruit, capacité d'opérer dans de large gamme de température [2,3].

Dans ce chapitre nous nous présentons tout d'abord l'Arséniure de Gallium, ces propriétés électroniques, et l'influence des propriétés des matériaux sur les performances des composants électroniques, en suite, nous présentons le transistor à effet de champ, sa structure, et principe de fonctionnement, en fin l'amélioration de la structure de ce composant.

## I.2. Arséniure de Gallium GaAs

### I.2.1. Définition

Tout d'abord, les semi-conducteurs sont omniprésents et contribuent à l'économie mondiale de manière très grande échelle (Aéronautique, communications, informatique, défense, énergie, amplification, santé, l'instrumentation, le transport...etc.), ne sont que quelques-uns des exemples d'applications de semi-conducteurs [4].

Dans la quête de performances, divers semi-conducteurs composés ont été développés pour des applications complémentaires à la technologie de silicium (Si) lorsqu'il ne peut pas fournir une densité de puissance suffisante pour atteindre les métriques requises [5].

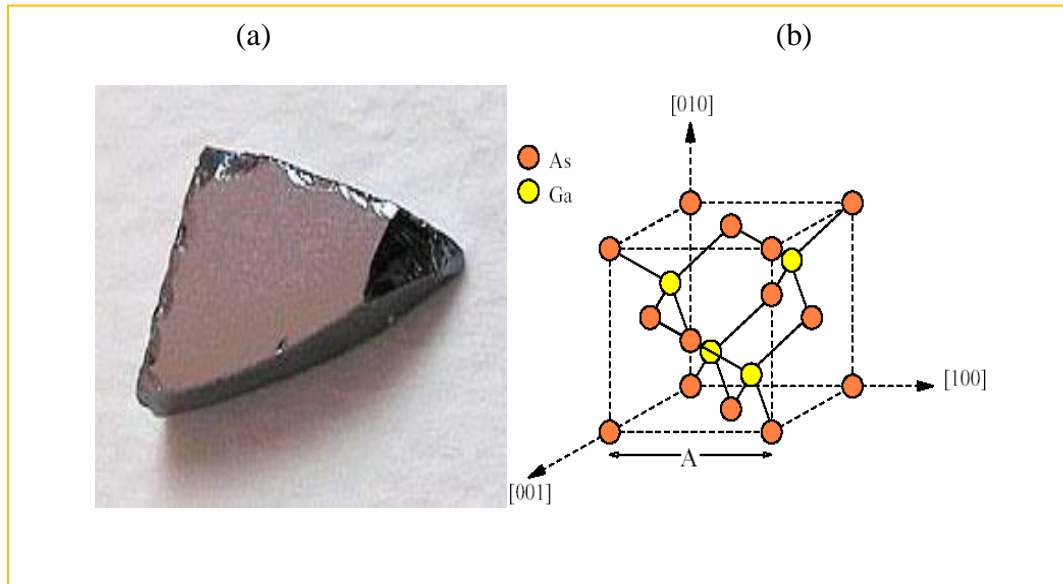
Par conséquent, l'Arséniure de Gallium noté « GaAs » qui fait partie ce que l'on appelle les composés « III-V » car le gallium et l'arséniure appartient respectivement à la colonne III et V de la classification périodique, a montré des progrès considérables en optoélectronique car il est beaucoup plus efficace pour émettre de la lumière que le silicium (Si), il est aussi utilisé pour réaliser des composants électroniques rapides et dans le domaine des hyperfréquences [6].

Le tableau suivant représente quelques principaux paramètres de Silicium et de l'Arséniure de Galium.

| À T=300 k                                  | Si                 | GaAs                  |
|--|--------------------|-----------------------|
| Concentration d'atomes (cm <sup>-3</sup> ) | 5.10 <sup>22</sup> | 2.21.10 <sup>22</sup> |
| μ <sub>n</sub> (cm <sup>2</sup> /v.s)      | 1350               | 8600                  |
| μ <sub>p</sub> (cm <sup>2</sup> /v.s)      | 480                | 250                   |
| Concentration diélectrique ε <sub>r</sub>  | 11.7               | 12                    |
| Champ de claquage (v/m)                    | 30.10 <sup>6</sup> | 35.10 <sup>6</sup>    |

*Tableau I-1 : Comparaison entre les principaux Paramètres du Si et GaAs [7].*

D'après le tableau I-1, il nous apparaît clairement que le (GaAs) a quelques propriétés supérieures à celles du (Si) c'est pour ça on le substitue par l'Arséniure de Gallium dans divers composants.



**Figure I-1:** (a) - Cristal du GaAs [8]. (b) - Maille cristalline du GaAs [6].

### 1.2.2 Propriétés électroniques du GaAs

La structure de bande directe du *GaAs*, lui confère des propriétés électroniques intéressantes [9, 10], qui le rendent plus demandé que d'autres semi-conducteurs par exemple :

- ✚ Il se prête facilement à la réalisation de diodes Schottky de hauteur de barrière élevée à partir de métaux divers qui rendent possible la fabrication de transistors à effet de champ à jonction métal-semi-conducteur (MESFET).
- ✚ Les propriétés de transport électronique du GaAs sont remarquables : mobilité très élevée ( $8000 \text{ cm}^2 \cdot \text{v}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$  pour un matériau peu dopé), vitesse de saturation élevée ( $2 \cdot 10^7 \text{ Cm} \cdot \text{s}^{-1}$ ) obtenue pour un champ électrique trois fois plus faible que pour le silicium.

Ces propriétés garantissent l'obtention de vitesses de commutation élevées sous de faibles consommations [9].

De par sa grande largeur de bande interdite, le GaAs peut être obtenu sous forme d'un semi-isolant de haute résistivité ( $10^7$  à  $10^9 \Omega \cdot \text{cm}$ ). L'épitaxie ou l'implantation de la couche active dans ce semi-isolant, permet d'assurer l'isolation inter-dispositif et, ainsi, d'offrir des capacités parasites entre les dispositifs et le plan de masse extrêmement faibles [10].

Nous pouvons résumer les propriétés physiques et électroniques du GaAs à la température ambiante 300K, dans le tableau ci-dessous :

| Nom   | Symbole         | Unité   | Valeur               |
|---|-----------------|---|----------------------|
| Structure cristalline                                 | //              | //  | Zinc Blende          |
| Paramètre cristallin                                  | a               | Å   | 5,63                 |
| Masse molaire   | M               | g.mole <sup>-1</sup>                              | 144,63               |
| Masse volumique                                       | $\rho$          | g.cm <sup>-3</sup>                                | 5,32                 |
| Nombre atomes par unité de volume                     | N               | cm <sup>-3</sup>                                  | $4,4 \cdot 10^{22}$  |
| Hauteur de la Bande Interdite                         | E <sub>g</sub>  | eV  | 1,42                 |
| Densité effective d'états dans la Bande de Conduction | N <sub>c</sub>  | cm <sup>-3</sup>                                  | $4,7 \cdot 10^{17}$  |
| Densité effective d'états dans la Bande de Valence    | N <sub>v</sub>  | cm <sup>-3</sup>                                  | $7,0 \cdot 10^{18}$  |
| Mobilité des électrons                                | $\mu_n$         | cm <sup>2</sup> .v <sup>-1</sup> .s <sup>-1</sup> | $8,5 \cdot 10^3$     |
| Mobilité des trous                                    | $\mu_p$         | cm <sup>2</sup> .v <sup>-1</sup> .s <sup>-1</sup> | $4,0 \cdot 10^2$     |
| Vitesse de saturation des électrons                   | v <sub>sn</sub> | cm.s <sup>-1</sup>                                | $1 \cdot 10^7$       |
| Constante diélectrique relative                       | $\epsilon_r$    | //  | 12,9                 |
| Champ de claquage                                     | E <sub>av</sub> | kV.cm <sup>-1</sup>                               | $3 \cdot 10^2$       |
| Affinité électronique                                 | $\chi_s$        | eV  | 4,07                 |
| Coefficient de dilatation thermique                   | $\alpha_l$      | K <sup>-1</sup>                                   | $6,86 \cdot 10^{-6}$ |
| Chaleur spécifique                                    | C               | J.g <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>                | 0,35                 |
| Conductivité thermique                                | $\lambda$       | W.cm <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup>               | 0,46                 |
| Température de fusion                                 | T <sub>f</sub>  | ° C   | 1240                 |

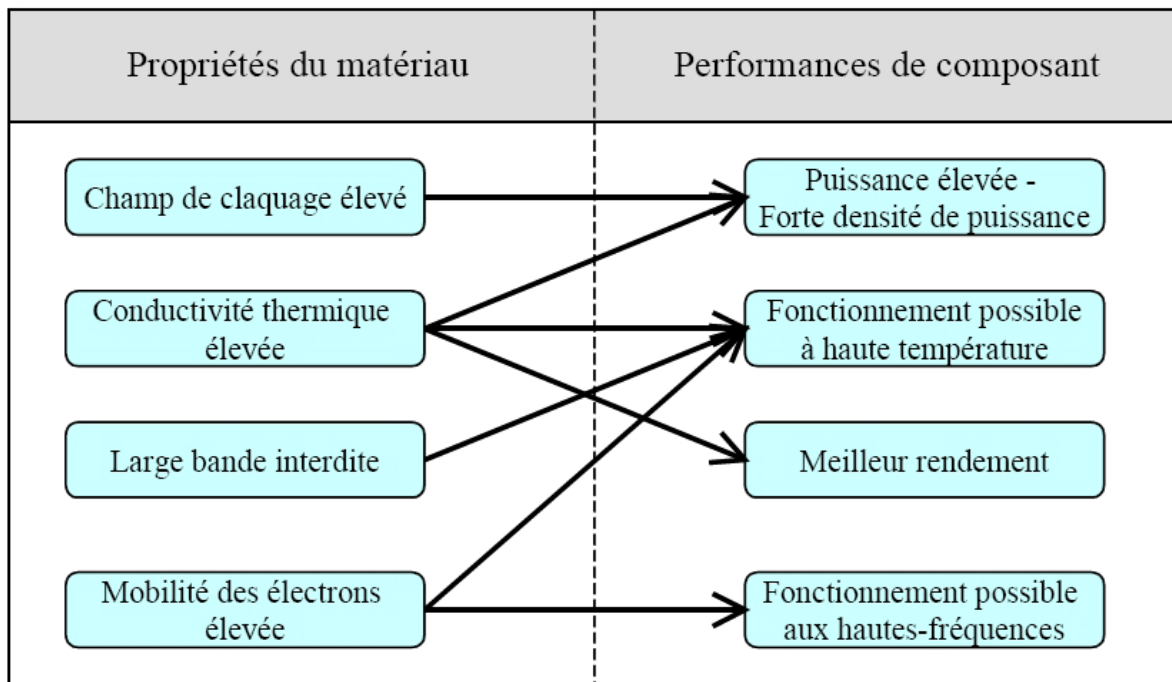
Tableau I-2 : Données numériques du l'Arséniure de Gallium GaAs à 300 K [10,6].

### I.2.3 Influence des propriétés des matériaux sur les performances des composants électroniques

Les semi-conducteurs à grand gap ont alors suscité un intérêt important grâce aux propriétés physiques et électriques, que leur confère leur largeur de bande interdite, sont très intéressantes pour un grand nombre d'applications de fortes puissances et à très hautes températures [11,12]. Dans lequel la mobilité des électrons ( $\mu_n$ ) et des trous ( $\mu_p$ ) sont des paramètres physiques prépondérants pour les dispositifs microondes. En particulier, ils

influent sur les performances RF, la transconductance  $g_m$  et le gain en puissance des transistors MESFETs de puissance [6]. Le champ électrique critique et la conductivité thermique sont les paramètres physiques d'un semi-conducteur qui fixent les performances en terme de puissance maximum d'un composant actif, De plus, le champ électrique d'avalanche fixe la limite fondamentale de fonctionnement d'un composant de puissance [6]. Ce que contient le MESFET GaAs qui possède des caractéristiques de redressement fourni des performances supérieures dans le domaine électronique et provoque des propriétés privilégiées et exceptionnelles [13].

Le schéma suivant résume et présente la relation liée entre quelques propriétés des matériaux semi-conducteurs et la puissance aux hautes fréquences des différentes filières de composants microélectroniques [14, 15].



*Figure I-2 : Influence des propriétés des matériaux sur les performances du composant [16].*

### I.3. Transistor à effet de champ, MESFET

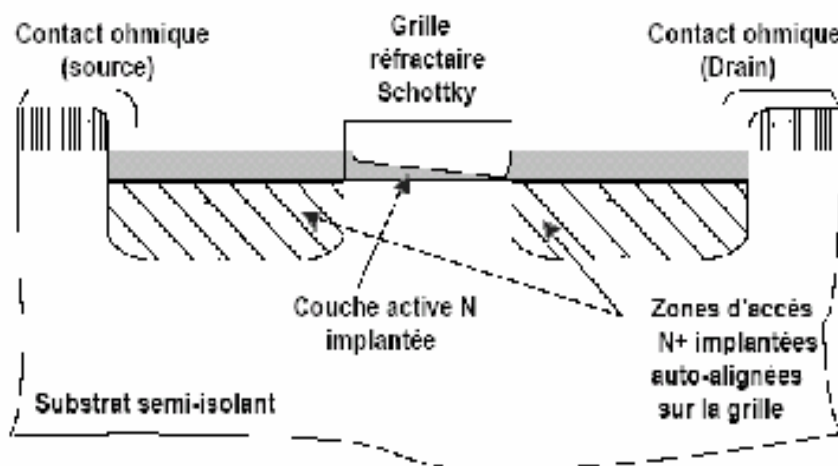
L'industrie des technologies hyperfréquence travaille depuis de nombreuses années avec le transistor MESFET tirée de l'origine anglo-saxonne « Metal Semi-conducteur Field Effect » [17] et aussi appelé OPFET (transistor à effet de champ optique) lorsqu'il est contrôlé optiquement [18].

Il joue un rôle prépondérant dans la technologie microonde (de 1 jusqu'à 30 GHz) aussi bien comme élément discret comme incorporé dans les circuits intégrés. Ils peuvent être utilisés dans les circuits de petits signaux et dans les amplificateurs de puissance (Oscillateur, Commutateur, Mixeur, Atténuateur), ce qui lui permet de constituer l'élément principal dans les ordinateurs modernes surtout dans les mémoires RAM [10]. Par conséquent, beaucoup de travail a été entrepris pour obtenir une conception fiable dépend essentiellement son comportement dans des conditions spéciales et pour décrire les caractéristiques de fonctionnement d'un MESFET GaAs [19].

### I.3.1. Structure

Dans l'état de l'art aujourd'hui, la structure du Transistor à effet de champ à contact Schottky repose sur une couche active (canal) directement implantée dans le substrat semi-isolant. Ensuite, la grille en métal réfractaire est déposée entre source et drain dans des conditions créant le contact schottky [20]. Puis les zones  $N^+$  sont implantées en se servant du métal comme d'un masque pour obtenir deux zones d'accès auto-alignées sur la grille [10,21].

La figure I-3 présente une coupe schématique d'un MESFET. La structure présentée met en évidence les différentes couches utilisées pour sa réalisation. La couche active est généralement une couche du type N qui repose sur un substrat semi-isolant. Les contacts de source et de drain sont des contacts ohmiques contrairement au contact Schottky de grille [22].



*Figure I-3 : Vue en coupe du MESFET GaAs implanté auto-aligné [10].*

L'épaisseur de la couche active en GaAs type-n est de 0.2 à 0.3 $\mu\text{m}$  avec une densité de dopants de  $2.10^{17}\text{cm}^{-3}$ . Le substrat semi isolant de GaAs est de grande résistivité ( $\rho \geq 10^7\Omega.\text{cm}$ ). En plus, pour réduire les résistances des contacts ohmiques de drain et de source, un sur-dopage type  $n^+$ , d'épaisseur de 0.1 $\mu\text{m}$  et de densité  $2.10^{18}\text{cm}^{-3}$ , est souvent réalisé sous ces contacts [2].

### I.3.2 Principe de fonctionnement

En fonctionnement normal, la grille est généralement polarisée négativement,  $V_{gs} < 0$ , par rapport à la source tandis que le drain est polarisé positivement,  $V_{ds} > 0$ . La présence du contact Schottky crée une zone dépeuplée de porteurs libres sous la grille. La concentration des électrons mobiles est donc maximale dans la fraction restante de la couche conductrice appelée canal conducteur [23]. En effet, lorsqu'on applique une tension drain-source positive, un flux d'électrons traverse le canal de la source vers le drain correspondant à un courant drain-source,  $I_{ds}$ , dans le Sens inverse. Si on diminue  $V_{gs}$ , l'épaisseur du canal augmente. Par conséquent le courant  $I_{ds}$  diminue. Lorsque le canal est pincé,  $I_{ds}$  s'annule [24].

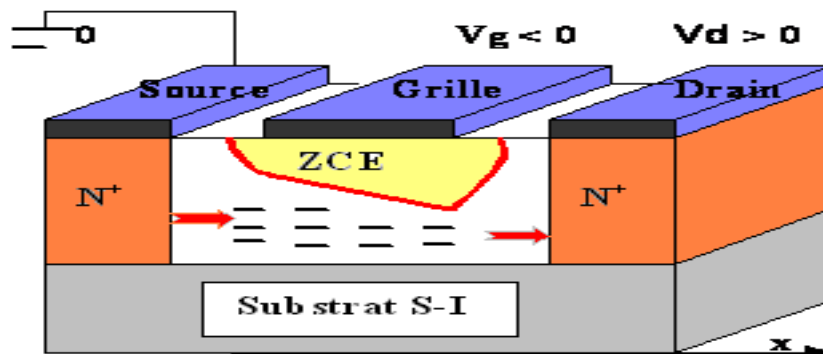
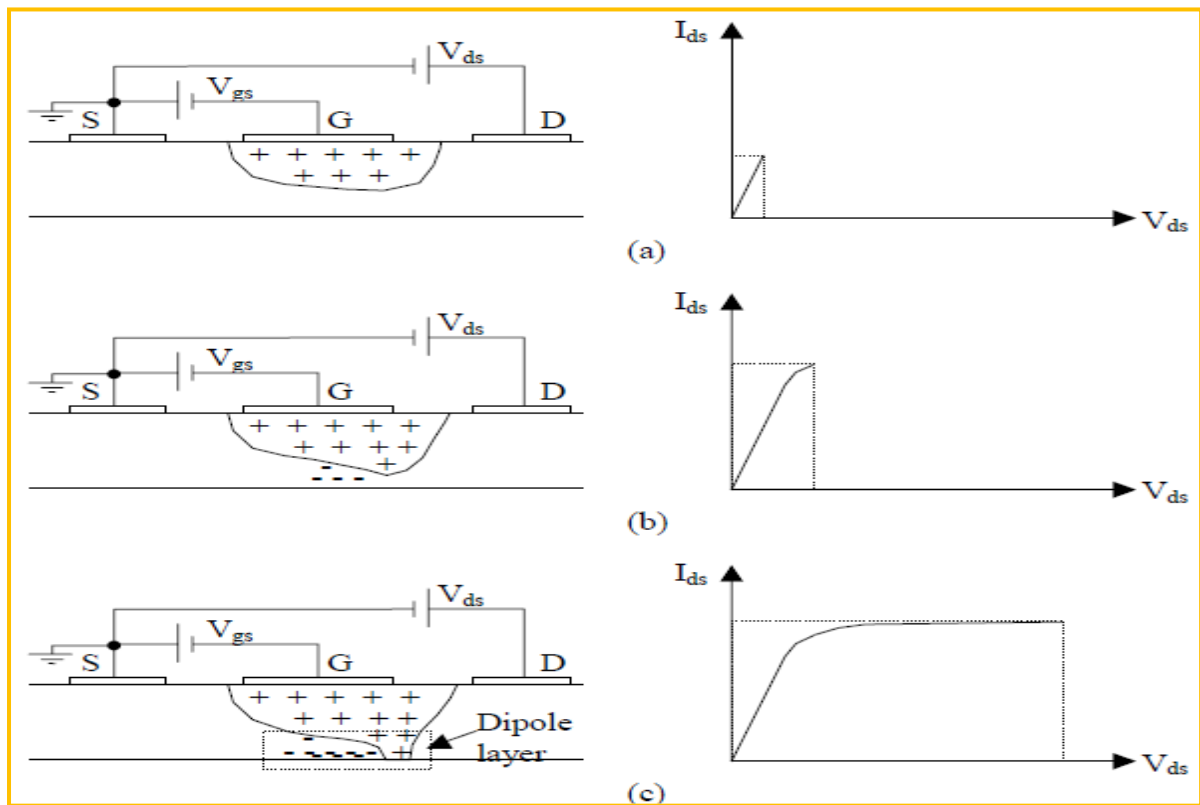


Figure I-4: Principe de fonctionnement du MESFET GaAs [23].

Pour mieux comprendre le principe de fonctionnement du *MESFET*, trois cas intéressants sont schématisés sur la figure I-5, ils représentent la zone active du MESFET GaAs à différentes valeurs de  $V_{ds}$  avec  $V_{gs} \leq 0\text{ V}$  :



**Figure I-5:** Principe de fonctionnement du MESFET GaAs à différentes valeurs de  $V_{ds}$  avec  $V_{gs} \leq 0$  V [25].

Si  $|V_{gs}| \ll |V_p|$  (tension de pincement), trois cas peuvent être reconnus pour les caractéristiques  $I_{ds}(V_{ds})$  [2] :

- Pour les faibles valeurs de  $V_{ds}$ ,  $I_{ds}$  est linéairement proportionnel à  $V_{ds}$  (figure I-5(a)).
- Pour  $V_{ds}$  très élevé,  $I_{ds}$  est presque constante (figure I-5 (c)).
- Pour  $V_{ds}$  modéré,  $I_{ds}$  suit une relation non-linéaire avec  $V_{ds}$  (figure I-5 (b)).

De plus, à  $V_{gs} = 0$  V, la région de déplétion est relativement étroite.

Ainsi, pour des valeurs de  $V_{ds}$  élevées, le champ électrique longitudinal et le courant sont établis dans le canal. Cependant si la tension  $V_{gs} \neq 0$  V et augmente pendant que  $V_{ds}$  est constant : la région de déplétion s'élargit et le canal conducteur devient plus étroit, par conséquent, le courant se trouve réduit [2].

### I.3.3 Amélioration de la structure du MESFET

Plusieurs techniques de réalisation ont été proposées. Afin d'améliorer les performances des transistors à effet de champ. Nous allons les présenter dans le paragraphe suivant.

#### I.3.3.1. MESFET à grille creusé

Pour améliorer la commande du transistor, une grille enterrée est réalisée [26]. Cette structure est réalisée en creusant, par attaque chimique ou gravure plasma, une tranchée dans le semi-conducteur entre les contacts de source et de drain. En suite, le métal de grille est pulvérisé au fond de cette tranchée. Par cette méthode les résistances d'accès dues à la zone latérale non contrôlée par la grille diminuent [23]. Ce procédé a cependant l'inconvénient d'augmenter la complexité des opérations technologiques, on lui préfère souvent la technique de l'implantation ionique localisée cette dernière permet de sur doper les zones inter-électrodes et par conséquent de diminuer les résistances d'accès en augmentant la densité des donneurs sous les zones latérales [23].

#### I.3.3.2. MESFET à grille champignon

La résistance associée à la métallisation de grille dégrade les performances microondes et elle est une source importante de bruit de fond. Pour réaliser des composants à faible bruit, il est important de la diminuer, ainsi la structure champignon a été mise au point où la résistance  $R_{g\text{est}}$  calculée par la relation suivante [23] :

$$R_g = \frac{\rho_g Z}{3H_g L_{\text{eff}}} \quad \text{I-1}$$

Où :

$\rho_g$ : la résistance du métal de grille exprimé en  $\Omega$ .

$H_g$ : l'épaisseur de métallisation.

$Z$  : largeur du canal.

$L_{\text{eff}}$  : longueur efficace de la grille.

La forme de la grille en champignon permet donc de différencier la longueur  $L_{\text{eff}}$  correspondant à la résistance  $R_g$  sans affecter les performances du composant. Pour réaliser cette forme, on utilise deux couches de résine photosensible [23].

### I.3.3.3 MESFET en structure LDD

La structure LDD (Light Doped Drain) [27], est améliorée par l'utilisation d'une couche sur la grille. Elle possède les avantages suivants [23]:

- ✚ Supprime les effets de bords notamment pour les canaux courts.
- ✚ Réduit la résistance de source et augmente la fréquence de composants submicroniques; une fréquence de coupure de 72 GHz peut être obtenue avec de bonnes performances en bruit.

Grace à ces avantages le MESFET GaAs en structure LDD reste le meilleur pour les applications digitales, analogiques, micro-onde et hybride [23].

### I.3.3.4 MESFET à grille divisée en plusieurs doigts

Elle consiste à diviser la métallisation de grille en plusieurs doigts. Si  $N_k$  est le nombre de doigts de grille et  $R_g$  la résistance de grille d'un doigt, la résistance de grille est donnée par la relation suivante [23] :

$$R_g = \frac{R_{gi}}{N_k^2} \quad \text{I-2}$$

Le tableau ci-dessous contient toutes les structures précédentes). Donc, pour améliorer la montée en fréquence de la composante, il faut réduire Longueur de grille  $L_g$  et l'épaisseur et dopage du canal [28] :

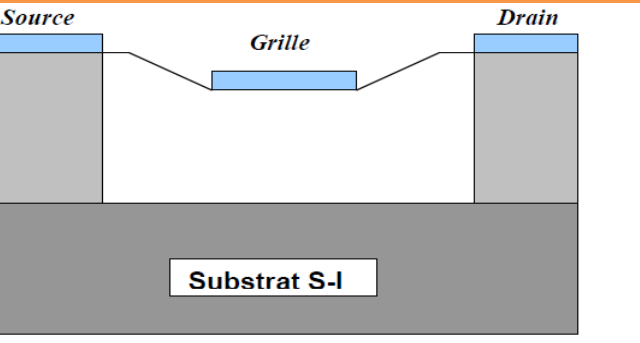
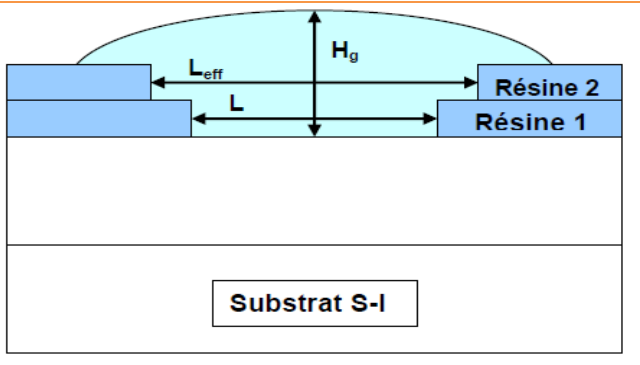
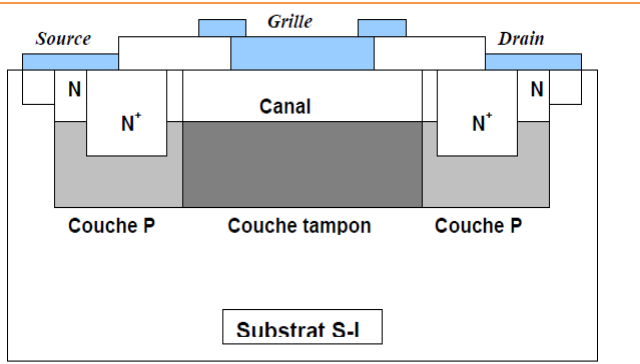
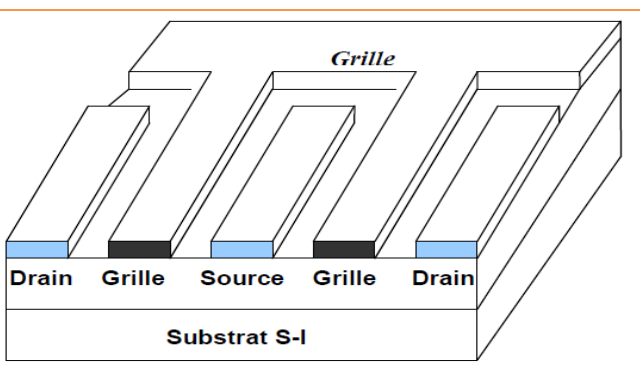
| Amélioration de la structure du MESFET            | Structure  |
|---|--|
| MESFET à grille creusé [23].                      |    |
| MESFET à grille champignon [23].                  |   |
| MESFET en structure LDD [23].                     |  |
| MESFET à grille divisée en plusieurs doigts [23]. |  |

Tableau I-3 : Amélioration des structures du MESFET.

## I.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté tout d'abord la structure et les propriétés physiques ainsi que, les propriétés électroniques du GaAs. En effet, les propriétés de transport électronique de l'Arséniure de Gallium permettent d'obtenir des densités de porteurs dont la vitesse moyenne dans le canal est bien supérieure à celle du Silicium. Également GaAs permet le dépôt de contacts ohmiques de bonne qualité par rapport à la plupart des autres composés III-V. Puis nous avons vu les effets de ces propriétés sur la performance de composant. Ensuite, nous avons présenté la structure, le principe de fonctionnement et finalement l'amélioration du transistor MESFET GaAs, de sorte que l'amélioration générale des performances électriques du transistor MESFET GaAs passe avant toute chose par l'amélioration de la qualité des matériaux et en particulier des substrats, le choix correct de la géométrie de la structure, ainsi que les procédés technologiques de réalisation des composants à effet de champ.

## Chapitre II

# Dispersion fréquentielle de $g_d$ & les effets thermiques des MESFET GaAs

### II.1 Introduction

Malgré les performances intéressantes du transistor MESFET GaAs, le fonctionnement de ce transistor perturbé à la fois par des anomalies à basse fréquence par exemple la dispersion fréquentielle de la transconductance, la conductance de sortie, l'hystérésis  $I(V)$  et l'oscillation basse fréquence [1]. Qui considère comme un problème sérieux pour beaucoup de circuits analogiques et numériques. Ainsi par les effets thermiques au titre d'exemple l'auto-échauffement qui représente un phénomène physique inévitable dans la plus part des circuits électroniques dû à l'effet joule. Cet auto-échauffement est responsable à la dégradation des propriétés de transport des matériaux et donc la dégradation de ses performances [2].

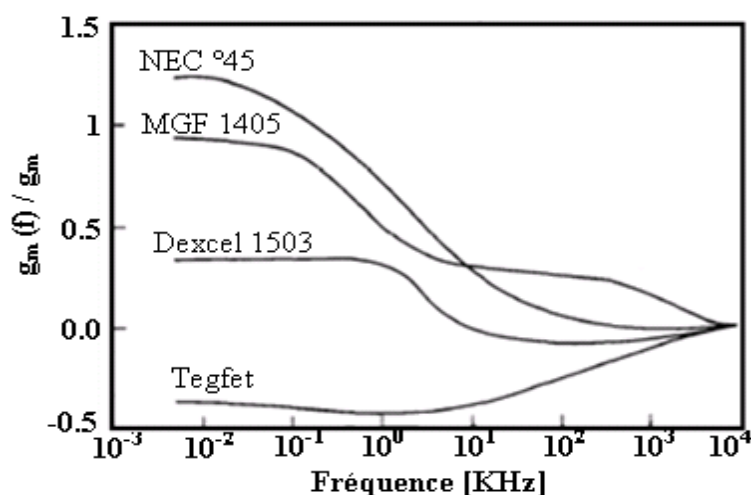
Dans ce contexte nous avons consacré le deuxième chapitre, dans la première partie nous présentons la dispersion basse fréquence de la transconductance, la conductance de sortie et ses origines. Dans la deuxième partie, nous présentons l'effet thermique dans le MESFET GaAs en trois étapes. Tout d'abord, nous intéressons à l'influence de la température sur les paramètres physiques du GaAs. Après, nous apprendrons à connaître sur le phénomène de l'auto-échauffement dans ce composant et son origine. Finalement, nous présentons plus en détail l'influence de température sur la conductance de sortie qui sera soutenue par un modèle analytique.

## II.2 Anomalies basses fréquences

Le transistor MESFET GaAs est utilisé dans de nombreux domaines et est devenu un élément indispensable dans tout appareil, mais il n'est pas sans défauts qui nuisent à ses bonnes performances. Par exemple lorsqu'il fonctionne en basses fréquences fait des anomalies telles que la dispersion fréquentielle de la transconductance et de la conductance de sortie, l'hystérésis dans les caractéristiques  $I_{ds}(V_{ds})$  et l'oscillation [1]. Ces anomalies ont été observées par plusieurs chercheurs qui utilisent différentes techniques de mesure [3- 4- 5- 6].

### II.2.1 Dispersion fréquentielle de la transconductance

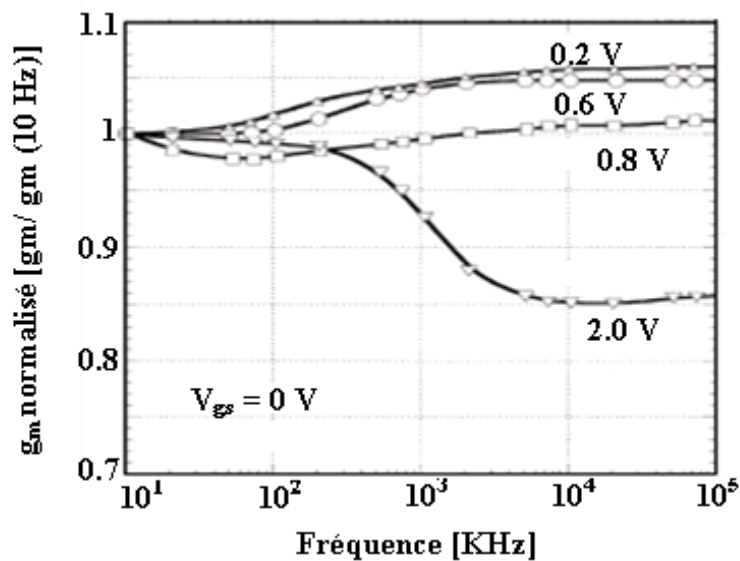
La dispersion fréquentielle de la transconductance a été observée tout d'abord dans les JFET Si [7], et puis dans les MOSFET GaAs [8] et les MISFET GaAs [9], où une augmentation de la transconductance avec la fréquence se produit dans le cas où des pièges sont présents dans la région d'espace au dessous de la grille. Au contraire, dans le cas du MESFET GaAs, une diminution de  $g_m$  avec l'augmentation de la fréquence a été observée [10], en particulier lorsque le composant fonctionne à faible tension de drain, c.-à-d en région ohmique. Ce phénomène a été attribué à la présence des pièges localisés sous les surfaces entre les contacts [11,6]. Dans ce contexte, les variations de la transconductance en fonction de la fréquence obtenue par Graffeuil et al [6] sur plusieurs composants submicroniques présenté dans la figure II-1.



**Figure II.1** : Variation de la transconductance en fonction de la fréquence pour plusieurs MESFETs GaAs Submicroniques [6].

L'origine de la dispersion fréquentielle de la transconductance a été étudiée par plusieurs chercheurs. Ozeki et al [11] ont montré que la dispersion fréquentielle de la transconductance est causée par l'échange de charge par la surface des états existant entre la source et la grille. Graffeuil et al [6], l'ont attribué à l'existence des états de surface localisés dans les zones dépeuplées sous les surfaces entre contacts. Lo et al [12] ont également expliqué le mécanisme de l'effet des états de surface sur la dispersion fréquentielle de la transconductance. Ils ont clairement montré que les électrons de pièges de surface provoquent une dispersion positive de la transconductance dans la région linéaire de fonctionnement du MESFET GaAs, tandis que les trous provoquent la dispersion négative [12].

La figure II-2 montre la dispersion fréquentielle de la transconductance pour un MESFET GaAs à tension grille-source  $V_{gs} = 0$  V, les tensions  $V_{ds}$  sont appliquées différemment pour comparer entre les deux régions de fonctionnement linéaire et saturation. Dans la région linéaire ( $V_{ds} < 0.8$  V) la transconductance augmente légèrement avec la fréquence d'environ 5%. Au contraire dans la région de saturation ( $V_{ds} > 1.0$  V) la transconductance décroît par 15% [4].



**Figure II-2 :** Transconductance en fonction de la fréquence à différentes valeurs de  $V_{ds}$  [4].

Dans la région linéaire, une dispersion fréquentielle positive de la transconductance est observée. Cette dispersion est causée par les pièges de surface localisés entre la source et la grille. Ces pièges ont une concentration d'ordre  $10^{12}$   $\text{cm}^{-2}$  et énergie d'activation de 0.42 eV

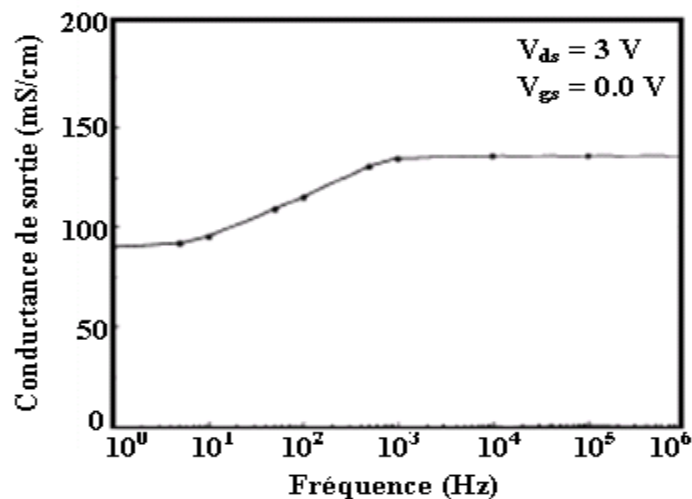
[1]. Mais, dans la région de saturation on observe une dispersion négative causée par un autre type de pièges et différents mécanismes. Afin de déterminer les caractéristiques des pièges qui causent la dispersion négative [1].

### II.2.2 Dispersion fréquentielle de la conductance de sortie

C'est bien connu que la conductance de sortie  $g_d$  du MESFET GaAs fabriqué sur substrat semi-isolant est dépendante de la fréquence (au-dessous de 1 MHz) [13-14]. La valeur mesurée de la conductance de sortie à basse fréquence diffère considérablement de celui à haute fréquence. Le changement dans la conductance de sortie varie largement selon les conditions de polarisations et la structure du composant [1].

À haute fréquence la conductance de sortie sature et la fréquence de saturation est très sensible à la température de fonctionnement [15,14, 16]. Souvent, les pièges sont évoqués comme responsable de ce changement. Plusieurs études ont été effectuées pour comprendre ce phénomène en relation avec les effets des pièges [1].

La figure II-3 représente les variations de la conductance de sortie en fonction de la fréquence. Il est très clair que la valeur de la conductance de sortie à basse fréquence est inférieure à celle observée en haute fréquence. Notons que pour une fréquence supérieure à  $10^3$  Hz, la conductance de sortie sature quelque soit la fréquence [3].



**Figure II-3 :** Conductance de sortie en fonction de la fréquence à  $V_{ds} = 3V$  et  $V_{gs} = 0 V$  [3].

Plusieurs études [15, 17, 18] révèlent que le piégeage d'électrons à l'interface canal-substrat a été indiqué comme le mécanisme responsable de la dispersion fréquentielle de la résistance de sortie (inverse de la conductance de sortie). D'autres confirment que les pièges à l'interface canal-substrat sont les responsables de la dispersion de la conductance de sortie [4]. En régime linéaire, le faible champ électrique réduit les variations de  $g_d(f)$ . Cependant, en régime de saturation les variations de la tension de drain-source influencent directement la largeur de la région de déplétion à l'interface qui cause une grande dispersion fréquentielle [4]. Les grandes valeurs de  $V_{ds}$  facilitent la capture des électrons de pièges à l'interface et diminuent le courant de drain. Quant aux hautes tensions de drain-source, elles augmentent le potentiel à l'interface canal-substrat. Comme un petit changement de la région d'accumulation induit par l'augmentation de  $V_{ds}$  a moins d'effet sur le changement du potentiel, la conductance de sortie exhibe une dispersion positive [4].

Canfield et al [15] ont indiqué que les états de surface jouent également un rôle dans ce comportement. Cette explication a également été donnée par d'autres chercheurs [19,20]. Certains chercheurs impliquent les trous des pièges où l'injection des trous se fait à partir de l'interface canal-substrat, c'est le phénomène de backgating [21,22]. Plusieurs études indiquent que la présence des pièges de type EL2 dans le GaAs sont les responsables sur la dispersion fréquentielle de la conductance de sortie [3, 23,24]. Ces pièges sont dominants dans le GaAs et ont une constante de temps approximativement de 17 ns à la température ambiante [25].

L'augmentation de la concentration de ces pièges induit une décroissance dans la conductance de sortie. Ce phénomène peut être expliqué par la décroissance du courant de substrat qui est fonction de la concentration de ces pièges et de la concentration des accepteurs peu profonds [3]. À basse fréquence, les niveaux peu profonds peuvent suivre le signal appliqué, la conductance de sortie sera plus grande. Cependant, à haute fréquence les pièges seront incapables de suivre le signal, les électrons seront dispersés dans la région du substrat, où ils resteront emprisonnés. Cette charge négative des pièges aide le pincement du canal, entraînant une augmentation de la conductance de sortie qui sature pour les hautes fréquences [15].

## II.3 Effets thermiques des MESFET GaAs

Tout composant à base semi-conducteur est sujet à des problèmes d'auto-échauffement lorsqu'il est soumis à des contraintes électriques [39]. De sorte que l'augmentation de la température interne du composant entraîne une diminution de la valeur de la mobilité des porteurs. Il en résulte une chute du courant de drain ( $I_d$ ) entraînant une diminution de la transconductance ( $g_m$ ) et de la conductance de sortie ( $g_d$ ) [26 -27].

### II.3.1 Influence de la température sur les paramètres physiques du GaAs

Les caractéristiques d'un semi conducteur telles que le gap,  $E_g$ , la constante diélectrique  $\epsilon_r$ , la mobilité  $\mu$ , la vitesse de saturation et la conductivité thermique sont influencés par la température. Ces paramètres ont beaucoup d'effets sur le courant et les capacités du MESFET GaAs [1]. Par exemple, une augmentation de la vitesse de saturation des électrons provoquée par une variation de la température conduit à une amélioration de l'unité de fréquence de coupure dans les FETs [1]. Dans ce paragraphe nous présentons l'effet de température sur les paramètres cités précédemment.

#### II.3.1.1 Influence sur le gap

Dans un semi-conducteur, l'énergie de la bande interdite ou le gap,  $E_g$ , représente la quantité d'énergie nécessaire à un électron pour passer de la bande de valence à la bande de conduction lorsque celui-ci est soumis à une excitation. Sous l'effet de la température, cette énergie subit une diminution avec l'augmentation de la température [28].

Dans le cas du GaAs, la bande interdite diminue d'environ 0.1 eV lorsque la température passe de 25 à 250°C, ceci signifie que la tension de claquage diminue lorsque la température augmente [29].

#### II.3.1.2 Influence sur la mobilité $\mu$

L'augmentation de la température crée des perturbations dans le réseau cristallin qui affectent la mobilité des porteurs. Cette dernière diminue lorsque la température augmente provoquant ainsi une réduction du courant dans les transistors [1].

### II.3.1.3 Influence sur la conductivité thermique

Pour l'optimisation du composant, il est important d'étudier la dépendance de la température sur la conductivité thermique du matériau qui compose le substrat utilisé dans la réalisation du composant [1].

Également, la conductivité thermique varie sensiblement en fonction de la température. Lorsque la température augmente la conductivité thermique décroît [29].

### II.3.2 Auto-échauffement dans les MESFETs GaAs

Les effets thermiques dans les transistors sont susceptibles d'induire des dérives de gain dans les composants radio fréquence. L'impact de la température de jonction sur le comportement du transistor est facilement démontrable en réalisant une mesure en continue du courant de sortie  $I_{ds}$  en fonction de  $V_{ds}$  [1]. À chaque point de ce réseau correspond une température. En effet, le produit courant-tension correspond à une puissance que le transistor va dissiper sous forme d'une chaleur [1]. Plus la puissance est élevée, plus la température augmente. Plus cette température est importante plus le courant de sortie diminue, la mobilité des électrons décroît avec l'augmentation de la température du canal, cette température aura donc une influence sur les performances hyperfréquence [1].

#### II.3.2.1 Influence de l'auto-échauffement sur la conductance de sortie

Les effets thermiques sur la conductance de sortie sont apparemment liés aux dégradations de la vitesse de saturation et de la mobilité d'électrons à faible champ électrique en raison de l'auto-échauffement dans la région du canal [1]. Pour un MESFET à canal long, le courant de drain est directement proportionnel à la mobilité. A température ambiante, la mobilité  $\mu \approx 4100 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  pour le GaAs, type n avec  $N_d = 1.2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ . Cependant, pour des MESFET's à canal court, le champ électrique est élevé et le courant de drain est proportionnel à la vitesse de saturation et au pic de la vitesse plutôt qu'à la mobilité [30]. La chaleur est produite dans la région du canal du MESFET. Elle est due au flux du courant de drain et par conséquent à la puissance dissipée. La majeure partie de cette chaleur est produite sous la grille coté drain puisque cette région soutient la majeure partie du  $V_{ds}$  [7,30]. Ce processus auto-chauffant peut avoir comme conséquence une différence de température aussi grande que  $100^\circ\text{C}$  entre le canal et le substrat [31]. Lorsque  $V_{ds}$  augmente, on distingue plus de puissance dissipée dans le canal qui le rend plus chaud. En conséquence la mobilité effective d'électrons décroît et de faibles valeurs de la conductance de sortie sont observées [30].

La mobilité effective des électrons dans le canal est calculée d'abord pour déterminer la nouvelle température du canal basée sur la dissipation de puissance. Cette température est déterminée en résolvant l'équation de la chaleur avec la région de production de la chaleur dans le canal approximée comme un simple demi-cylindre. La solution est compliquée dans le GaAs à cause de la dépendance de la conductivité thermique en fonction de la température ( $K(T) = 0.44(T/300)^{-1.25} \text{ W/cm/}^\circ\text{C}$ ) [32].

L'équation de chaleur non linéaire peut être linéarisée en utilisant la transformation de Kirchhoff [33] :

$$\Delta T_1 = \frac{1}{k(T_0)} \int_{T_0}^T K(T') dT' \quad \text{II-1}$$

$K(T_0)$  est la conductivité thermique évaluée à l'autre coté du contact. Après la linéarisation, la différence de température,  $\Delta T_1$ , entre le canal et l'autre coté de contact est donnée par la relation suivante [31] :

$$\Delta T_1 = 1 \frac{P_{\text{diss}}}{\pi K(T_0) L Z} \ln \frac{8 t_{\text{sub}}}{\pi l_g} \quad \text{II-2}$$

Où :

$P_{\text{diss}} / L Z$  est la puissance dissipée par centimètre de largeur de grille.

$L_g$  : la longueur de grille (cm).

$t_{\text{sub}}$  : L'épaisseur du substrat (cm).

L'équation II-2 peut être écrite comme suit :

$$\frac{\Delta T_1}{T_0} = \frac{P_{\text{diss}}}{P_0} \quad \text{II-3}$$

Où  $P_0$  est une constante donnée par l'équation II-4 :

$$P_0 = \frac{\pi K(T_0) L Z T_0}{\ln(8 t_{\text{sub}} / \pi L_g)} \quad \text{II-4}$$

La différence de température effective doit être trouvée en utilisant la transformation de Kirchhoff :

$$\frac{\Delta T}{T_0} = \frac{1 - (1 - P_{\text{diss}}/4P_0)^4}{(1 - P_{\text{diss}}/4P_0)^4} \quad \text{II-5}$$

$\Delta T$  peut s'écrire de la façon suivante:

$$\Delta T = \frac{P_{diss}}{\pi k_{eff} L_z} \ln \frac{8t_{sub}}{\pi L_g} \quad \text{II-6}$$

Où :

$K_{eff}$  Est la conductivité thermique uniforme et efficace du substrat.

Cette conductivité permet d'obtenir la différence de température correcte entre le canal du FET et les autres régions. La combinaison des équations II-5 et II-6 conduit à la relation de la conductivité thermique efficace suivante :

$$K_{eff} = \frac{P_{diss}}{(\Delta T/T_0)L_z T_0} \ln \frac{8t_{sub}}{\pi L_g} \quad \text{II-7}$$

L'équation II-6 peut être réécrite comme suit :

$$\frac{\Delta T}{T_0} = \frac{P_{diss}}{P_{eff}} \quad \text{II-8}$$

Où  $P_{eff}$  est une constante donnée par l'équation II-9 :

$$P_{eff} = \frac{k_{eff} L_z T_0}{\ln \left( \frac{8t_{sub}}{\pi L_g} \right)} \quad \text{II-9}$$

L'équation II-6 donne une bonne estimation du gradient de température pour une structure simple de MESFET, mais pour structures complexe de MESFET comme les FET's de puissance à grilles multiples, une analyse de deux dimensionnelles devrait donner un profil plus précis de la température de canal [30].

### II.3.2. Variation de la conductance de sortie avec la fréquence et la température

Les variations de la conductance de sortie avec la fréquence et la température provoquent des difficultés dans le fonctionnement des circuits intégrés. Par conséquent, un modèle exact de la conductance de sortie pour le MESFET GaAs est exigé pour les applications de simulation

des circuits. [30] Pour la modélisation des circuits équivalents du MESFET GaAs Camacho-Penalosa et Aitchison en 1985 [34] ont proposé un circuit avec une branche RC entre le drain et la source en parallèle avec la résistance de sortie pour décrire la dispersion fréquentiel de la conductance et la transconductance de sortie. En 1987 Larson [35] a proposé un circuit qui contient deux FET's parasites en série avec une paire de RC entre la source et le drain. Il existe d'autres modèles des circuits équivalents. En 1990, Canfield et al [30] déterminent l'expression analytique des variations de la conductance de sortie en fonction de la fréquence :

$$g(f) = \frac{g_d(dc) \left\{ 1 + j2\pi f \left( \tau_e \frac{g_d(Hf)}{g_d(dc)} \right) \right\}}{(1 + j2\pi f \tau_e)} \quad \text{II-10}$$

Où  $(dc)$  et  $g(Hf)$  sont respectivement la conductance de sortie à basse et haute fréquence.  $\tau_e$  est la constante de temps pour l'émission des électrons à partir des centres des pièges. La dépendance de la température avec la constante de temps pour l'émission d'électrons est incorporée dans le modèle.

La relation entre la constante de temps et la fréquence caractéristique des pièges est donnée par la relation suivante [36] :

$$\tau_e = 1/f_c \quad \text{II-11}$$

La fréquence des caractéristiques est liée au taux de l'émission des centres du piégeage par [37] :

$$f_c = \frac{\sigma V_{th} N_c}{g} e^{-E_a/KT_C} = A T_C^2 e^{-E_a/KT_C} \quad \text{II-12}$$

Où

$E_a$ : L'énergie d'activation des pièges

$\sigma$ : Le coefficient de capture.

$K$ : Constante de Boltzmann.

$T_C$ : La température du composant.

$V_{th}$ : La vitesse thermique moyenne.

$N_c$ : La densité effective des états dans la bande de conduction.

$g$ : Facteur de dégénération du niveau (ici  $g=1$ )

Alors :

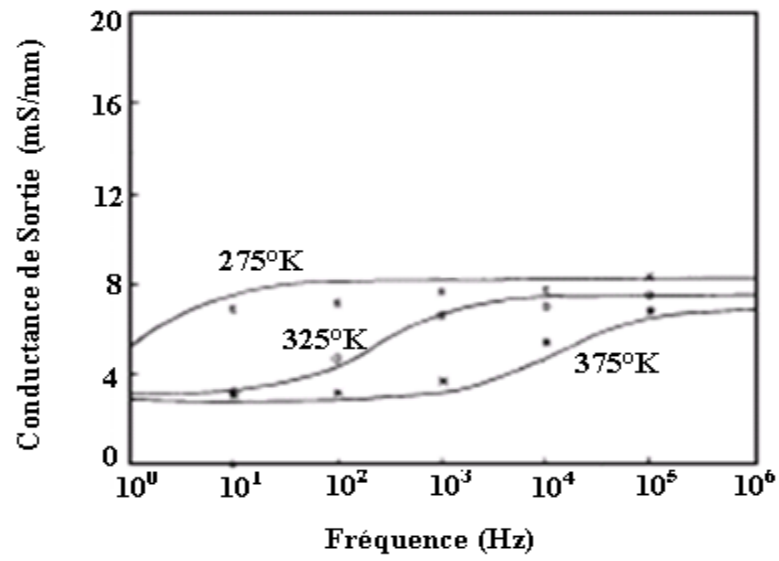
$$\tau_e = 1/A T_C^2 e^{-E_a/KT_C} = \frac{1}{A T_C^2} \exp(E_a/KT_C) \quad \text{II-13}$$

Pour les pièges EL2 se trouvant dans le gap du GaAs, la relation de  $\tau_e$  en fonction de la température est donnée par la suivante [38] :

$$\tau_e \approx \frac{3.5 \cdot 10^{-8}}{T_c^2} \exp\left(\frac{9450}{T_c}\right) \quad \text{II-14}$$

En considérant l'interaction entre les électrons du canal et les pièges, la réponse du MESFET GaAs dans le domaine de la fréquence peut être liée à sa réponse dans le domaine de temps. Cette réponse dans le domaine de temps est déterminée par la capture et l'émission des porteurs dans les régions d'interface de la couche active. Dans l'analyse petit signal, seulement l'émission d'électrons par les pièges doit être considérée, parce que c'est le taux limitant le processus qui provoque les coupures du courant de drain [30]. La figure II-3 représente les variations de la conductance de sortie en fonction de la fréquence à trois différentes températures : 275 K, 325 K et 375 K. C'est une comparaison entre le modèle de Canfield et des résultats expérimentaux [1].

On remarque que lorsque la température augmente de 275 K à 375 K, la conductance de sortie décroît. Ceci peut être attribué à la dépendance de la conductance de sortie avec la mobilité  $\mu$ , la vitesse de saturation et le pic de la vitesse des électrons. Notons que ces paramètres sont inversement proportionnels à la température. Alors que la conductance de sortie est proportionnelle à ces paramètres. Canfield a proposé que le comportement de la dispersion fréquentielle soit lié à la constante de temps d'émission des électrons à partir des pièges dans le substrat semi isolant près des interfaces canal-substrat et canal-surface [30].



**Figure II-4:** Comparaison entre résultats expérimentaux (• • X) et le modèle de Canfield (—) pour  $V_{ds}=3V$  et  $V_{gs}=0.2V$  [40].

## II. 4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la dispersion fréquentielle de certains éléments du MESFET GaAs : la conductance de sortie, la transconductance. Ces anomalies attribuées à la présence de pièges, de surface ou à l'interface canal-substrat, dans ces dispositifs. Qu'ils constituent un problème sérieux pour beaucoup de circuits analogiques et numériques et restent un sujet de recherche important. Comme dernière partie, nous avons passé en revue l'influence de la température sur les paramètres physiques du GaAs tels que le gap, la mobilité et la conductivité thermique; l'augmentation de la température induit une diminution des ces paramètres. Après, nous avons détaillé l'origine de l'auto-échauffement dans ce composant et leur influence particulièrement sur la conductance de sortie  $g_d$ . Finalement, nous avons présenté les variations de  $g_d$  avec la température et la fréquence qui cause souvent des difficultés dans le fonctionnement des circuits intégrés soit analogiques ou digitales.

## Chapitre III

# Détermination de La température interne d'un MESFET GaAs via $g_d(f)$

### III.1 Introduction

La température de fonctionnement ou interne des composants a une influence directe sur leurs caractéristiques menant indéniablement à leur vieillissement [1]. De façon précisée la température de fonctionnement d'un transistor de puissance RF ou micro-ondes est un paramètre très important qui affecte aussi bien les performances et sa fiabilité, les limites de fonctionnement ou la durée de vie du composant [2]. 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  $I_{ds}$  [3]. Sa connaissance est d'un grand intérêt aussi bien pour le contrôle des caractéristiques que pour le fonctionnement. En fait, la détermination précise de la température de jonction dans les FETs et les MMICs est très critique pour l'évaluation de leur fiabilité [1,2].

Dans ce chapitre nous présentons une étude comparative entre des résultats expérimentaux et d'autres théoriques de la dispersion fréquentielle de la conductance de sortie  $g_d$ . À partir de cette étude, nous déterminons la température optimale correspondante à la meilleure conformité entre nos résultats expérimentaux et théoriques.

## III.2 Méthodologie de travail

### III.2.1 Principe

Le principe de cette étude est la comparaison entre des résultats expérimentaux et d'autres théoriques de la dispersion fréquentielle de la conductance de sortie ( $g_d$ ) afin de déterminer la température de fonctionnement. Pour les simulations théoriques, nous nous sommes basés sur l'expression de la conductance de sortie  $g_d$  proposée par Canfield et al [3].

$$g_d(f) = \frac{g_d(dc) \left\{ 1 + j2\pi f \left( \tau_e \frac{g_d(Hf)}{g_d(dc)} \right) \right\}}{(1 + j2\pi f \tau_e)} \quad \text{III-1}$$

Avec : Où ( $dc$ ) et  $g_d(Hf)$  sont respectivement la conductance de sortie à basse et haute fréquence,  $\tau_e$  est la constante de temps d'émission des électrons par des centres de pièges qui est une fonction de la température de fonctionnement du composant [3].

L'équation III-1 montre que la conductance de sortie est dépendante de la fréquence et de la température. C'est un nombre complexe qui admet une phase et un module.

Expérimentalement, nous mesurons le module de la conductance de sortie. Ainsi, afin de pouvoir comparer les résultats expérimentaux et ceux simulés, il devient nécessaire de déterminer le module de l'expression III-1. De plus, pour une mise en forme pratique afin de faciliter les calculs et la comparaison, nous avons pensé à travailler en valeur relatives. Ainsi, la valeur de la conductance de sortie est normalisée à celle obtenue à la plus basse fréquence,  $g_d(dc)$ . En conséquence, la relation utilisée dans les calculs de  $g_d(f)$  dans toute la gamme de fréquence est la suivante :

$$\left| \frac{g_d(f)}{g_d(dc)} \right| = \sqrt{\frac{1 + 4\pi^2 f^2 \left( \tau_e \frac{g_d(Hf)}{g_d(dc)} \right)^2}{1 + 4\pi^2 f^2 \tau_e^2}} \quad \text{III-2}$$

### III.2.2. Transistor MGF 30

Dans cette partie, nous étudions les variations expérimentales et théoriques de  $g_d(f)$  pour un premier transistor MESFET GaAs de type commercial (MGF 30) dans la gamme de fréquence [0.01kHz-100 kHz] et pour des températures variables de 300 à 340 K. Comme condition de polarisation, nous avons choisi :  $V_{ds} = 1$  V et  $|V_{gs}| = 0.2, 0.35, 0.45$  et  $0.6$  V.

#### III.2.2.a. Étude à tension grille-source $|V_{gs}| = 0,2$ V

Les variations de  $|g_d(f)/g_d(dc)|$  en fonction de la fréquence sont représentées dans la figure III-1. : Résultats expérimentaux (▪) et calculés (—) à  $T = 300$  à  $340$  K. On constate qu'aussi bien pour la théorie que pour l'expérience, la dispersion fréquentielle positive de la conductance de sortie est relevée pour  $f \leq 4.16$  KHz. Cependant, pour  $f > 4.16$  KHz les valeurs de la conductance de sortie deviennent presque constantes et indépendantes des variations de la fréquence. À  $T=300$  K, on observe une différence considérable entre les valeurs calculées via le modèle théorique et les résultats expérimentaux. Mais, une augmentation de la température conduit à une diminution de cette différence. Le meilleur accord entre les résultats simulés et expérimentaux est obtenu à  $T=319$  K. Ainsi, au point de polarisation définie par  $V_{ds}= 1$  V et  $V_{gs}= -0.2$  V, la température 319 K est considérée comme étant la température de fonctionnement du transistor.

#### III.2.2.b. Étude à tension grille-source $|V_{gs}| = 0,35$ V

La figure III-2 représente les variations de  $|g_d(f)/g_d(dc)|$  en fonction de la fréquence, résultats expérimentaux (▪) et calculés (—) à  $T = 300$  à  $340$  K. On relève les mêmes constatations que pour la figure III-2. Dans ce cas,  $V_{ds} = 1$  V et  $V_{gs}= -0.35$  V, l'accord entre les simulations et les résultats expérimentaux est obtenu à  $T=317$  K. Remarquons que la température interne déterminée à  $V_{gs}= -0.2$  V est supérieure à celle déduite pour  $V_{gs}= -0.35$  V et  $V_{ds}= 1$  V.

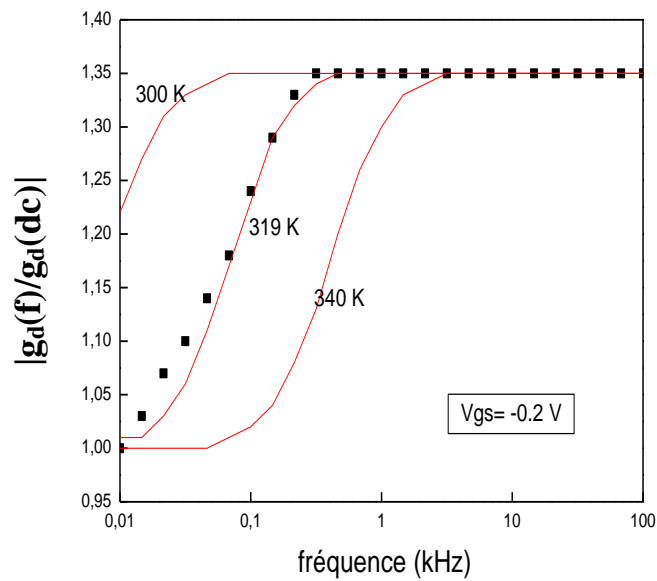


Figure III-1 : Variations de  $|g_d(f)/g_d(dc)|$  en fonction de la fréquence théorie (—) et expérimentale (▪) à  $V_{ds} = 1 V$  et  $|V_{gs}| = 0.2V$ .

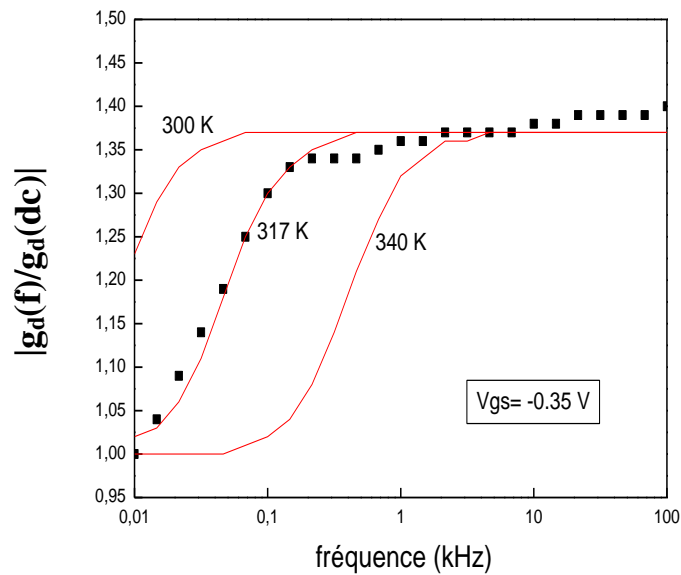


Figure III-2 : Variations de  $|g_d(f)/g_d(dc)|$  en fonction de la fréquence théorie (—) et expérimentale (▪) à  $V_{ds} = 1 V$  et  $|V_{gs}| = 0.35V$ .

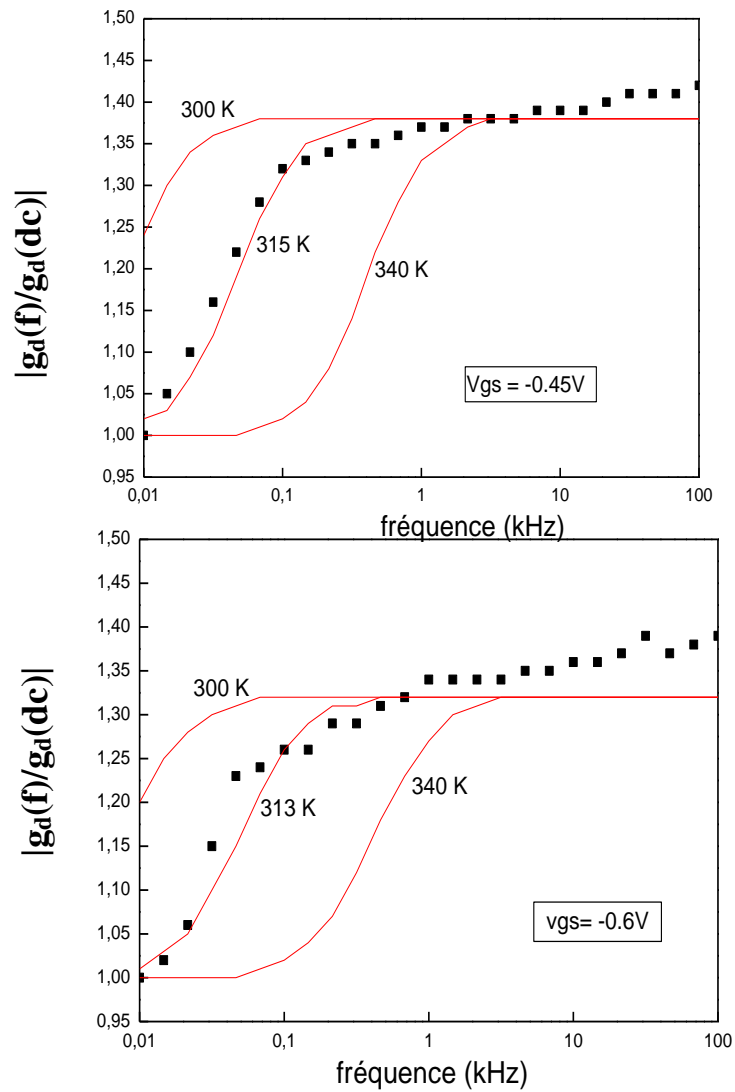
### III.2.2.c Étude à d'autres tensions grille-source $V_{gs}$

L'évolution de  $|g_d(f)/g_d(dc)|$  en fonction de la fréquence et de la température ; à  $V_{ds} = 1V$  du premier transistor a été effectué pour d'autres valeurs de polarisation grille –source  $V_{gs}$ (0.45- et -0.6V). Les résultats sont illustrés respectivement dans la figure III-3 et on constate à partir de cette figure :

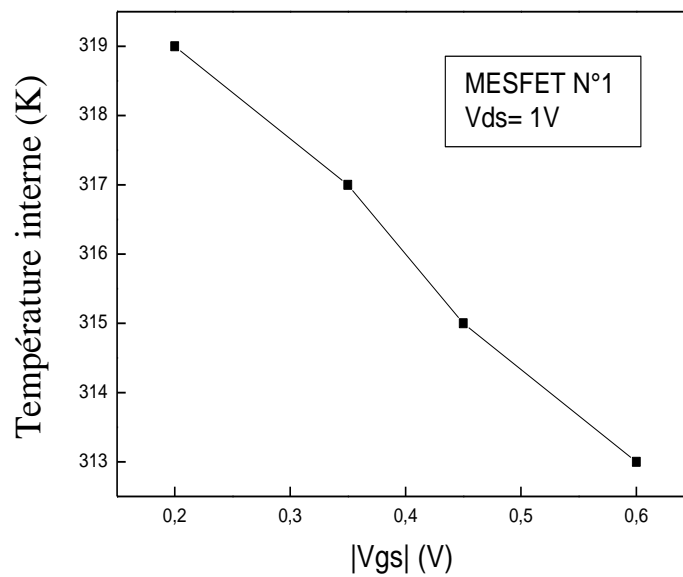
- ✓ Pour la théorie ainsi pour l'expérience, on relève une dispersion positive pour les faibles fréquences ( $f \leq 4.10^3\text{Hz}$ ). Par contre pour les hautes fréquences ( $f > 4.10^3\text{Hz}$ ) les valeurs de  $g_d$  deviennent presque constantes.
- ✓ L'accord entre la théorie et l'expérience est obtenu à des différentes températures dépendantes de la polarisation  $V_{gs}$ . Ainsi, la température de fonctionnement est égale à 315, 313 K respectivement à -0.45 et -0.6 V.

Donc à la fin de cette étude, On peut conclure que la dispersion fréquentielle positive de la conductance de sortie  $g_d$  peut être attribuée à la présence des pièges dans le dispositif qui émettent des électrons, ces derniers peuvent suivre le signal (faibles fréquences). Mais pour les hautes fréquences, ces pièges ne peuvent pas répondre aux variations du signal, ce qui conduit à une saturation des valeurs de  $g_d$ .

Nous avons réussi à déterminer la température de fonctionnement du composant pour différentes polarisations. Cette température évolue en fonction de ces dernières. La figure III-4 représente les variations de la température de fonctionnement en fonctions de la polarisation grille-source  $V_{gs}$ , à  $V_{ds} = 1V$  pour un MESFET GaAs N°1 (MGF 30).



**Figure III-3** : Variations de  $|g_d(f)/g_d(dc)|$  en fonction de la fréquence théorique (—) et expérimentale (▪) à  $V_{ds} = 1 V$  et  $|V_{gs}| = 0.45$  et  $0.6V$



**Figure III-4** : Variation de la température interne du composant en fonction de  $|V_{gs}|$ .

On remarque que lorsque  $|V_{gs}|$  augmente, la température de fonctionnement décroît. 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  $I_{ds}$  [3].

### III.2.3. Transistor MGF 50

#### III.2.3.a. Étude à tension drain-source $V_{ds} = 1V$ et déférente polarisation grille-source

Dans ce paragraphe, nous étudions les variations expérimentales et théoriques des valeurs de  $|gd(f)/g(dc)|$  pour un deuxième transistor MESFET GaAs de type commercial (MGF 50) dans la même gamme de fréquence précédente et pour des températures variables de 300 à 340 K. Comme condition de polarisation, nous avons choisi :  $V_{ds} = 1V$  et  $|V_{gs}| = 0.2, 0.3, 0.35, 0.40, 0.45$  et  $0.6 V$ .

Les figures III-5 représentent les variations de  $|gd(f)/g_a(dc)|$  en fonction de la fréquence: résultats expérimentaux (▪) et ceux simulés (\_\_\_\_) à  $V_{ds}=1V$  et déférentes valeurs de  $V_{gs}$ . Nous avons trouvé :

- (i) Une dispersion positive est relevée pour les faibles fréquences ( $f \leq 4.10^3$  Hz) et pour les hautes fréquences ( $f > 4.10^3$  Hz) les valeurs de  $gd$  deviennent presque constantes, cette remarque est formulé pour la théorie ainsi pour l'expérience.
- (ii) La température de fonctionnement est égale à 327, 326, 325, 324.5, 324, 322.5 K respectivement à -0.2, -0.3, -0.35, -0.4 -0.45 et -0.6 V.
- (iii) Une relation linéaire entre la température de fonctionnement et la polarisation grille-source qui illustre la diminution de cette température.

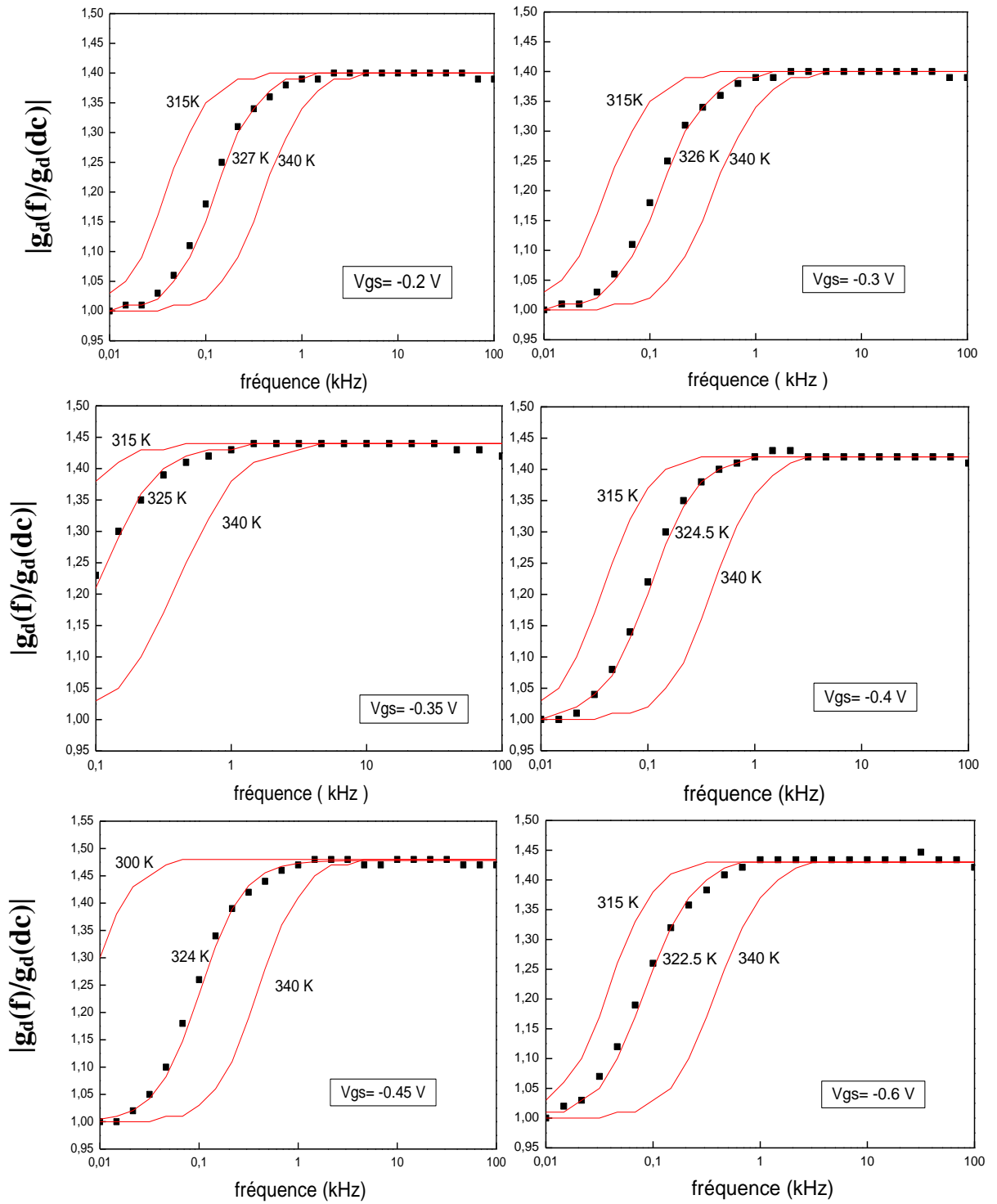
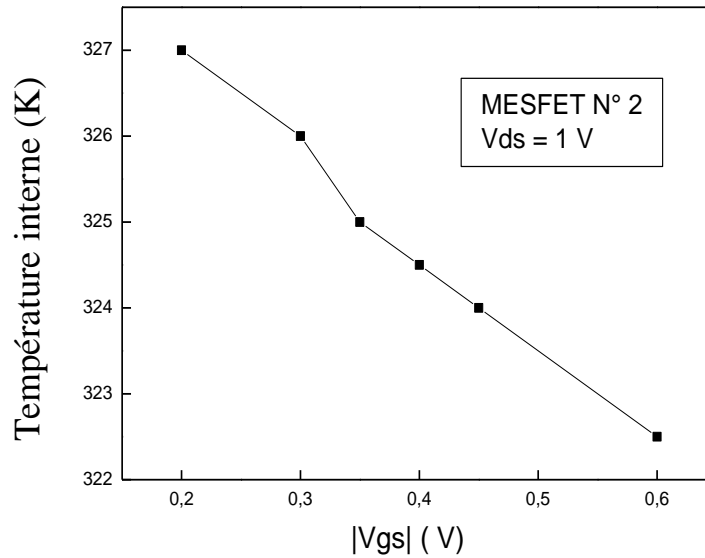


Figure III-5: Variations de  $|g_d(f)/g_d(dc)|$  en fonction de la fréquence théorique (—) et expérimentale (▪) à  $V_{ds} = 1$  V et  $|V_{gs}| = 0.2, 0.3, 0.35, 0.4, 0.45$  et  $0.6$  V.

La figure III- 6 représente les variations de la température interne du deuxième transistor commercial (MGF 50) en fonction de la tension grille-source appliquée. On remarque également que lorsque  $|V_{gs}|$  augmente, la température de fonctionnement décroît.



**Figure III-6:** Variation de la température interne (ou de fonctionnement) du composant en fonction de  $|V_{gs}|$  pour (MGF 50).

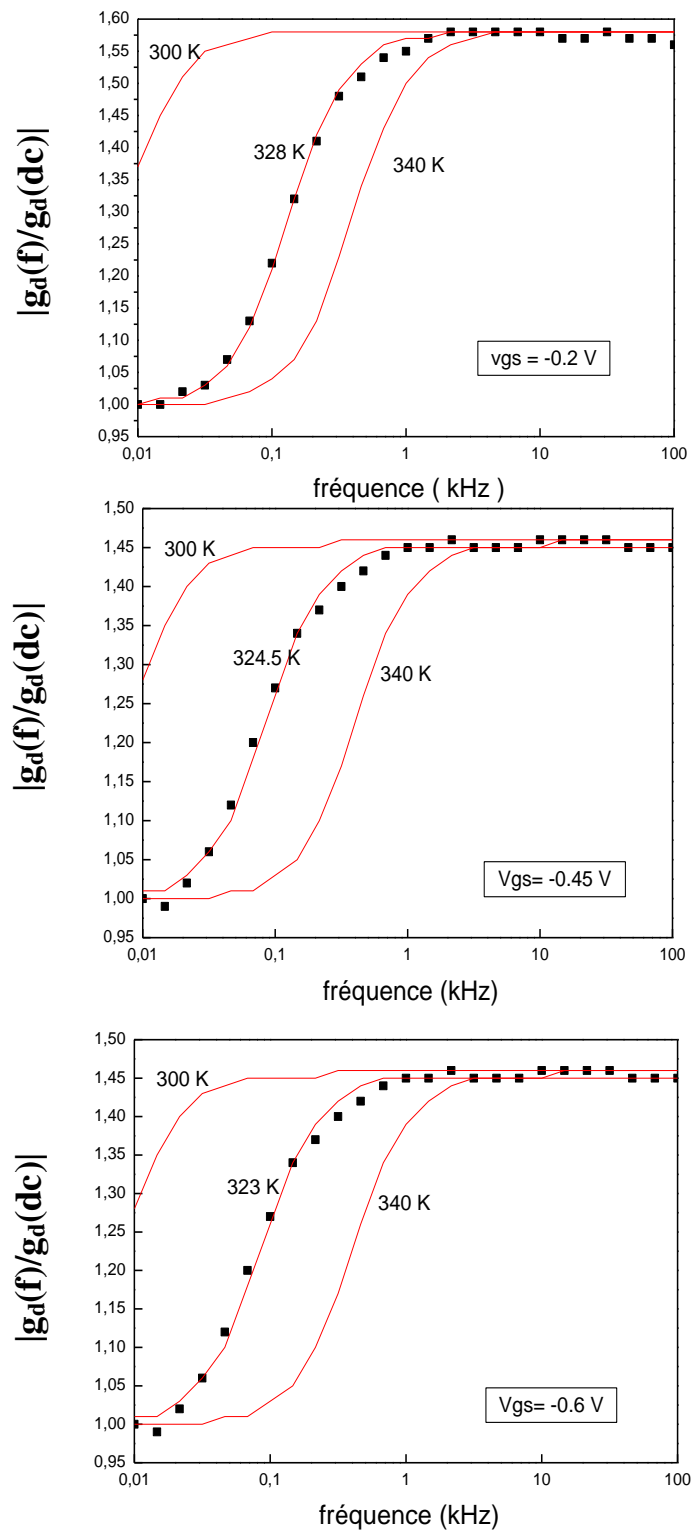
### III.2.3.b. Étude à tension drain-source $V_{ds} = 1.5$ V

Dans ce paragraphe, nous avons étudié les variations de la  $g_d$  en fonction de la fréquence et la température du même transistor N° 2 à  $V_{ds} = 1,5$  V et différentes valeurs de  $V_{gs}$  ; toujours dans les mêmes gammes de fréquence et de températures. Résultats expérimentaux (▪) et calculés (—) lorsque la température varie entre 300 & 340 K, respectivement à  $V_{gs} = -0,2$  V, à  $V_{gs} = -0,45$  V & à  $V_{gs} = -0,6$  V et une polarisation drain-source égale à 1,5 V. Comme pour l'étude précédente, pour chaque valeur de  $V_{gs}$  considérée, une différence considérable est notée entre la théorie et l'expérience.

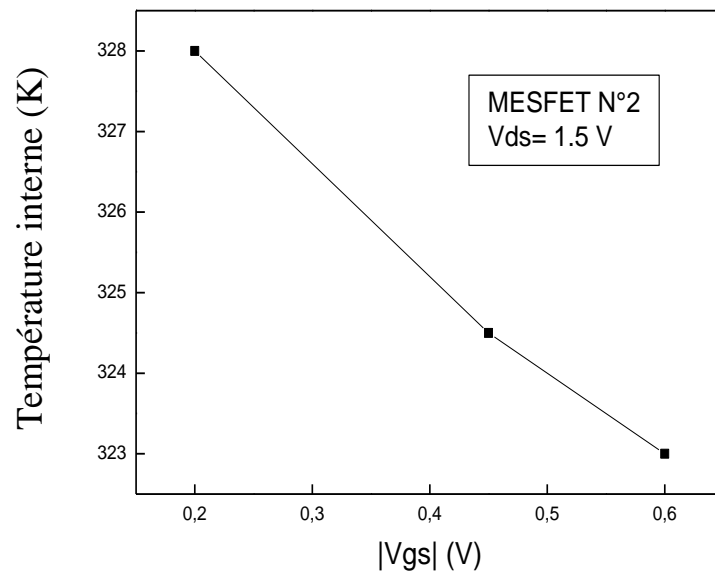
La figure III-7 représente les variations expérimentales et théoriques de la conductance de sortie en fonction de la fréquence, obtenues pour le même composant N°2, à  $V_{ds} = 1.5$  V et  $V_{gs}$  respectivement égale -0.2, -0.45 et -0.6 V. On constate les mêmes variations trouvés pour  $V_{ds} = 1$  V :

- ✓ Une dispersion positive est relevée pour les faibles fréquences ( $f \leq 4.10^3$  Hz), alors que pour les hautes fréquences ( $f > 4.10^3$  Hz) les valeurs de  $gd$  deviennent presque constantes. Cette remarque est formulée pour la théorie ainsi que pour l'expérience.
- ✓ L'accord entre la théorie et l'expérience est obtenu à des températures différentes selon la polarisation  $V_{gs}$ . Donc la température de fonctionnement est égale à 328, 324.5, 323 K respectivement à -0.2, -0.45 et -0.6 V. notons que ces températures sont supérieures à celles obtenue à  $V_{ds} = 1$  V.

Afin de mieux illustrer l'influence de la tension de polarisation de la grille sur la température interne de fonctionnement,  $T_f$ , nous représentons sur la figure III-8, l'évolution des variations de cette température en fonction de  $V_{gs}$  à  $V_{ds}=1,5$  V (pour le transistor MESFET GaAs N° 2). Il est clair que  $T_f$  décroît au fur et à mesure que  $V_{gs}$  en valeur absolue. Cette décroissance peut être attribuée à la diminution du courant de drain (dans ces conditions).



**Figure III-7 :** Variations de  $|g_d(f)/g_d(dc)|$  en fonction de la fréquence théorie (—) et expérimentale (•) à  $V_{ds} = 1.5 \text{ V}$  et  $|V_{gs}| = 0.2, 0.45 \text{ et } 0.6 \text{ V}$ .



**Figure III-8** : Variation de la température interne (ou de fonctionnement) du composant en fonction de  $|V_{gs}|$  pour (MGF 50).

### III.3 Conclusion

Dans ce chapitre, nous sommes intéressés à l'étude des variations de la  $g_d$  en fonction de la fréquence et la température pour deux transistors MESFET GaAs de type commercial. Dans un premier temps, les simulations théoriques étaient obtenues via le modèle de Canfield et al. Après cette simulation nous avons trouvé une différence considérable entre les résultats calculés et mesurés. Cette différence est étudié dans toute la gamme de fréquence considérée et à différentes polarisations grille-source et drain-source.

Par ailleurs, nous avons trouvé un écart entre les résultats expérimentaux et théoriques à  $T=300$  K, lorsque la température augmente cet écart décroît. Par conséquent l'accord entre les résultats calculés et expérimentaux est obtenu à une température bien précise c'est la température de fonctionnement du composant. Cette température varie linéairement avec  $|V_{gs}|$  de sorte que l'augmentation de  $|V_{gs}|$  correspondante une diminution de cette température. Donc il y a une corrélation étroite entre la température de fonctionnent du composant et la tension grille-source appliquée.

## *Conclusion Générale*

Dans ce mémoire, nous avons abordé les points les plus importants liés au composant MESFET GaAs en trois chapitres respectivement :

- ✚ Dans le premier chapitre, nous avons présenté la structure et les propriétés physiques ainsi que, les propriétés électroniques du GaAs. En effet, les propriétés de transport électronique de l'Arséniure de Gallium permettent d'obtenir des densités de porteurs dont la vitesse moyenne dans le canal est bien supérieure à celle du Silicium. Également le GaAs permet le dépôt de contacts ohmiques de bonne qualité par rapport à la plupart des autres composés III-V. Puis nous avons présenté les effets de ces propriétés sur les performances des composants. Ensuite, nous avons présenté la structure, le principe de fonctionnement et finalement l'amélioration du transistor MESFET GaAs.
- ✚ Dans le deuxième chapitre, nous avons présenté la dispersion fréquentielle de certains éléments du MESFET GaAs : la conductance de sortie, la transconductance. Ces anomalies attribuées à la présence de pièges, de surface ou à l'interface canal-substrat, dans ces dispositifs. Qu'ils constituent un problème sérieux pour beaucoup de circuits

analogiques et numériques et restent un sujet de recherche important. Comme dernière partie, nous avons présenté l'influence de la température sur les paramètres physiques du GaAs tels que le gap, la mobilité et la conductivité thermique. Sachant que, l'augmentation de la température induit une diminution de ces paramètres. Après, nous avons présenté l'auto-échauffement dans ce composant et leur influence particulièrement sur la conductance de sortie  $g_d$ . Finalement, nous avons présenté les variations de  $g_d$  avec la température et la fréquence qui cause souvent des difficultés dans le fonctionnement des circuits intégrés soit analogiques ou digitales.

✚ Dans le dernier chapitre, nous sommes intéressés à l'étude des variations de la  $g_d$  en fonction de la fréquence et la température pour deux transistors MESFET GaAs de type commercial. Dans un premier temps, les simulations théoriques étaient obtenues via le modèle de Canfield et al. Après cette simulation nous avons trouvé une différence considérable entre les résultats calculés et mesurés. Cette différence est étudiée dans toute la gamme de fréquence considérée et à différentes polarisations grille-source et drain-source. Par ailleurs, nous avons trouvé un écart entre les résultats expérimentaux et théoriques à  $T = 300$  K, lorsque la température augmente cet écart décroît. Par conséquent l'accord entre les résultats calculés et expérimentaux est obtenu à une température bien précise c'est la température de fonctionnement du composant. Cette température varie linéairement avec  $|V_{gs}|$  de sorte que l'augmentation de  $|V_{gs}|$  correspondante une diminution de cette température. Donc il y a une corrélation étroite entre la température de fonctionnement du composant et la tension grille-source appliquée.

## Introduction générale

- [1] F. Zohra Khelifati « Étude des conditions de polarisation sur les propriétés électriques d'un MESFET GaAs », Mémoire de Magister, Université Annaba, 2015.
- [2] S.Mellal « Optimisation des caractéristiques des transistors à effet de champ à l'Arséniure de Gallium à grille schottky MESFET GaAs », Thèse de Doctorat, Université Larbi Ben M'hidi –Oum El Bouaghi, 2015.
- [3] K. Belkacemi « Modélisation et management thermique des modules de puissance RF et fiabilité des circuits électroniques par la méthode TLM », Thèse de Doctorat, Université de Mostaganem 2019.
- [4] Z. Fares « Contribution à l'étude des propriétés thermiques des composants à effet de champs MESFET GaAs », Thèse de Doctorat, Université Constantine 1, 2018.
- [5] M. Saleh Benbouza « Conception assistée par ordinateur des circuits intégrés MESFET GaAs », Thèse de Doctorat, Université Batna, 2007.
- [6] I. Hamma, T.Ziar, H. Farh, Y.Saidi, C. Azizi « Influence of surface recombination and the life time of minority carriers on the characteristics of MESFET (Opfet) GaN », Optik (Stuttgart) - International Journal For Light And Electron Optics, vol 233, p.166479, 2021.
- [7] Ch. Azizi, S. Khemissi, Ch. Kaddour Et Y. Saidi « Modèle analytique des caractéristiques statiques du transistor MESFET GaAs a grille submicronique ( $L_g = 0,5$  Mm) », 5th International Conference: Sciences Of Electronic, Technologies Of Information And Telecommunications, March 22-26, Tunisia, 2009.

- [8] Z. Hadjoub , K. Cheikh, A. Zouyed, A. Khoualdia And A. Doghmane « Quantification of surface state effects in GaAs MESFETs », Iop Conference Series Materials Science And Engineering · February 2012, Doi: 10.1088/1757-899x/28/1/012036.
- [9] Z. Hadjoub, A. Khoualdia, K. Cheikh, A. Doghmane « Positive and negative frequency dispersion of output conductance in GaAs MESFETs used in optically controlled microwave amplifiers », Ieee, Conférence Tunisia, Dec 2007, DOI: 10.1109/ICTONMW.2007.4446964.
- [10] Y. Hasumi, N. Matsunaga, T. Oshima, And H. Kodera, «Characterization of the frequency dispersion of transconductance and drain conductance of GaAs MESFET», Ieee Transactions On Electron Devices, vol 50 (10), p.2032, 2003.
- [11] S. L. Sheng « Semiconductor physical electronics », 2cd Édition Springer, 2006.
- [12] A. M. Darwish, A. Bayba, And H. A. Hung « Closed form expression for thermal resistance of a fet structure radar », Conference Ieee, p.1, 2009.

\*\*\*\*\*

## Chapitre I

- [1] H. Jia, T. Li, Y. Tong, S. Zhu, Y. Liang, X. Wang, T. Zeng, Y. Yintang ,« A novel 4h–SiC MESFET with p-type doping zone and recessed buffer layer », Elsevier , Materials Science In Semiconductor Processing, vol 144, p.106615, 2022.
- [2] F. Zohra. Khelifati « Étude des effets thermiques dans les MESFETs Via  $g_d(f)$  », Thèse de Doctorat, Université Annaba 2015.
- [3] H. Jia, T. Li, Y. Tong, S. Zhu, Y. Liang, X. Wang, T. Zeng, Y. Yintang « A novel 4h-SiC MESFET with symmetrical lightly doped drain for high voltage and high power applications », Materials Science In Semiconductor Processing, vol 105, p.104707, 2020.
- [4] Martin I. Pech-Canul, Nuggehalli M. Ravindra « Semiconductors synthesis, properties and applications », 1<sup>ère</sup> Édition, Springer Cham, 2019, <https://doi.org/10.1007/978-3-030-02171-9>.
- [5] H. Casademont « Semi-conducteurs 2d pour l'électronique flexible: évaluation du potentiel du MOS2 monocouche en tant que matériau de canal », Thèse de Doctorat, Université Paris-Saclay Préparée À L'université Paris-Sud ,2016.
- [6] Ch.Ngô Et H.Ngô « Physique des semi-conductrices », 4ème Éditions, Dunod ,2012.

- [7] W. Afzal, A. Afaq1, S. Ur Rehman, W. S. T. Rowe, « Performance comparative analysis of MESFET with Si, GaAs, SiC and GaN substrate effects », Photonics & Electromagnetics Research Symposium (Piers), Hangzhou, China, p.958, November 2021.
- [8] N.M. Memon, M.M. Ahmed, F. Rehman, « A comprehensive four parameters i-v model for GaAs MESFET output characteristics » Solid-State Electronics, vol 51(3), p.511, 2007.
- [9] H. Mohammadi, M. Mohammadi, I. S. Amiri, M. Hosseinghadiry « Analytical modeling of short-channel fully-depleted triple work function metal gate (Twfmg) SOI MESFET », Silicon, vol 13(10), p.747, 2020.
- [10] S. Mellal « Influence des paramètres physiques et géométriques du transistor à effet de champ MESFET GaAs », Mémoire de Magistère, Centre Universitaire Oum El Bouaghi, 2008.
- [11] C.De Santi, L. Pavanello, A. Nardo, C. Verona, G. V. Rinat, D. Cannatà, F. Di Pietrantonio, G. Meneghesso, E.Zanoni, M. Meneghini « Cause and effects of off-state degradation in hydrogen-terminated diamond MESFETs », Ieee Transactions On Electron Devices, vol 67, p .4021, October 2020.
- [12] U. Choi, T. Kwak, S.Han, S-W. Kim O.Nam « High breakdown voltage of boron-doped diamond metal semiconductor field effect transistor grown on freestanding heteroepitaxial diamond substrate », Diamond And Related Materials, vol 121, p.108782, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.diamond.2021.108782>.
- [13] M. Mohtaram, A.A. Orouji, Z. Ramezani, D. Keighobadi « Physical analysis on the dc and RF operations of a novel SOI-MESFET with protruded gate and dual wells », Springer, Silicon, vol 14, p.3911, 2021, <https://doi.org/10.1007/S12633-021-01174-5>.
- [14] Audrey Philippon – Martin « Étude d'une nouvelle filière de composants sur technologie nitrure de gallium. Conception et réalisation d'amplificateurs distribués de puissance large bande à cellules cascades en montage flip-chip et technologie mmiic », Thèse de Doctorat, Université De Limoges, Décembre 2007.
- [15] M. Laredj « Modélisation électrothermique de Transistors en technologie GaN » Mémoire de Maîtrise, L'école de Technologie Supérieure Montréal, Mars 2011.

- [16] K. Belkacemi « Modélisation et management thermique des modules de puissance RF et fiabilité des circuits électroniques par la méthode TLM », Thèse de Doctorat, Université De Mostaganem, 2019.
- [17] B. Balaji1 · K. Srinivasa Rao1 · K. Girija Sravani1 · M. Aditya1 « Design, performance analysis Of GaAs/6h-SiC/AlGan metal semiconductor FET in submicron technology », Springer, vol 12, p.1, 2022, <https://doi.org/10.1007/S12633-021-01545-Y>.
- [18] J.V. Gaitonde, R.B. Lohani « Novel graphene-based opfet for optoelectronic applications », Elsevier, Materials Today: Proceedings, vol 49, p.2090–2095, 2022.
- [19] Z. Zhong *Et Al* « A consistent charge model of GaAs MESFETs for ku -band power amplifiers », Ieee Transactions On Microwave Theory And Techniques, vol 59(9), p.2246, September 2011.
- [20] M. Saleh Benbouza « Conception assistée par ordinateur des circuits intégrés MESFET GaAs », Thèse de Doctorat, Université Batna, 2007 .
- [21] H. Muller Et J. Nicolas Myklebust « Les Composants Actifs Hyperfréquences », Site Web: [www.etud.insa-toulouse.fr/~sroy/cce/transistors\\_hf.doc](http://www.etud.insa-toulouse.fr/~sroy/cce/transistors_hf.doc).
- [22] G. Douadi « Analyse des transistors à effet de champ MESFET GaAs », Mémoire de Magister, Université Constantine, 2009.
- [23] Z. Fares « Contribution à l'étude des propriétés thermiques des composants à effet de champs MESFET GaAs », Thèse de Doctorat, L'université Mentouri Constantine1, 2018.
- [24] S. Amourache « Modélisation du transistor à effet de champ a grille schottky à L'arséniure de Gallium », Thèse de Doctorat, Université de Constantine, 2007.
- [25] M. Roechi « Status of the surface and bulk parasitic effects limiting the performance of GaAs Ic's », Physica, vol 129, p.119, 1985.
- [26] I.Hamma « Contribution à l'étude des propriétés bidimensionnelles du MESFET GaAs », Thèse de Doctorat, Université Oum El Bouaghi, 2014.
- [27] R. H. Dawson «Equivalent circuit of the schottky barrier field effect transistor at microwave frequencies », vol 23, Issue: 6, 1975, [Ieee Transactions On Microwave Theory And Techniques](http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10744).

[28] F. Diette « Étude des transistors à effet de champ de type HEMT sur substrat GaAs et InP pour l'amplification de puissance en gamme millimétrique », Thèse de Doctorat, Université de Lille, 1998.

\*\*\*\*\*

## Chapitre II

[1] F. Zohra Khelifati « Étude des conditions de polarisation sur les propriétés électriques d'un MESFET GaAs », Mémoire de Magister, Université Annaba ,2010.

[2] K. Belkacemi « Modélisation et management thermique des modules de puissance rf et fiabilité des circuits électroniques par la méthode TLM », Thèse de Doctorat, Université de Mostaganem, 2019.

[3] Sh. Ho, C. P. Lee « Numerical analysis of frequency dependent output conductance of GaAs MESFETs », Ieee Trans Electron Devices, vol 38, p.1693, 1991.

[4] Y. Hasumi, N. Matsunaga, T. Oshima, H. Koderu « Characterization of the frequency dispersion of transconductance and drain conductance of GaAs MESFET », Ieee Transactions On Electron Devices, vol 50 (10), p.2032, 2003.

[5] J. Graffeuil, Z. Hadjoub, J. P. Fortea, M. Pouysegur « Analysis of capacitance and transconductance frequency dispersions in MESFETs for surface characterization », Solid-stare electronics, vol 29 (10), p.1087, 1986.

[6] R. Van Tuyl, C. A. Liechti « Gallium Arsenide digital integrated circuits », Air Force Avionics Lab, Afsc, Wfab, Tech. rept. Afaltr, vol 30 (7), p.74, 1974.

[7] W. G. Oldham, S. S. Naik « Admittance of  $p-n$  junctions containing traps », Soli-State Electron, vol 15 (10), p.1085, 1972.

[8] H. Hasegawa, T. Sawada « Electrical modeling of compound semiconductor interface for fet device assessment », Ieee trans. electron devices, vol ed-27 (6), p.1055, 1980.

[9] D. L. Lile « The effect of surface states on the characteristics of mis field effect transistors », Soli-State Electron, vol 21 (10), p.1199, 1978.

- [10] J. Graffeuil « Le transistor hyperfréquence à effet de champ à grille métallique sur Arséniure de Gallium. Propriétés statistiques et dynamiques petits signaux. Analyse des phénomènes de bruit de fond », Thèse d'État de l'Université Paul Sabatier, Juillet 1977.
- [11] M. Ozeki, K. Kodama, A. Shibatomi « Surface analysis in GaAs MESFETs by gm frequency dispersion measurement », In Proc. Int. Symp. GaAs Related Compounds, vol 18 (4), p.323, 1981.
- [12] S. H. Lo, C. P. Lee « Numerical analysis of frequency dispersion of transconductance in GaAs MESFETs », Ieee Trans. Electron Devices, vol 43, p.213, 1996.
- [13] L. E. Larson, J. F. Jensen, H. M. Levy, P. T. Greiling, G. C. Temes « GaAs differential amplifiers », In Ieee GaAs Ic Symp. Tech.Dig, p.19, 1985.
- [14] S. C. F. Lam, P. C. Canfield, A. J. Mccamant, D. J. Allstot « Analytical model of GaAs MESFET output conductance », In Ieee GaAs Ic Symp.Tech.Dig, p.203, 1988.
- [15] P. Canfield, J. Medinger, L. Forbes « Buried-channel GaAs MESFET's with frequency-independent output conductance », Ieee Electron Device Lett, vol Edl-8, p.88, 1987.
- [16] J. Golio, M. Miller, G. Maracas, D. Johnson « Frequency dependent electrical characteristics of GaAs MESFETS », Ieee Trans Electron Devices, vol 37 (5), p.1217, 1990.
- [17] L. E. Larson « An improved GaAs MESFET equivalent circuit model for analog integrated circuit application », Ieee. J. Solid-State Circuits, Sc- vol 22 (4), p.567, 1987.
- [18] C. C. Penalosa, C. S. Aitchison « Modeling frequency dependence of output impedance of a microwave MESFET at low frequencies », Electron Lett, vol 21 (12), p.528, 1985.
- [19] P. H. Ladbroke, S. R. Blight « Low-field low-frequency dispersion of transconductance in GaAs MESFET with implications for other rate dependent anomalies », Ieee Trans. Electron Devices, vol 35, p.257, 1988.
- [20] N. Ishihara. H. Kikuchi, M. Ohara « Gigahertz-band high-gain gaas monolithic amplifiers using parallel feedback techniques », Ieee J. Solid-State Circuits, vol 24, p.962, 1989.
- [21] N. Scheinberg, R. Bayruns, R. Goyal « A low frequency GaAs MESFET circuit model », Ieee. J. Solid-State Circuit, vol 23, p.605, 1988.

- [22] J. F. Wager, A. J. Mccamant « GaAs MESFET interface considerations », Ieee Trans.Electron.Devices, vol Ed-34, p.1001, 1987.
- [23] P. C. Canfield, S. C. F. Lam, D. J. Allstot « Modeling of frequency and temperature effects in GaAs MESFET's », Ieee. J. Solid-State Circuit, vol 25 (1), p.299, 1990.
- [24] S. Chio, B. D. Mukunda « Origin and modeling of the frequency dependent output conductance in microwave GaAs MESFETs with buried player », Ieee Transaction On Electron Devices, vol 41 (10), p.1725, 1994.
- [25] J. Lagowski, D. G. Lin, T. Aoyama, H. C. Gatos « Oxygen related midgap level in GaAs », In Proc.3rd Semi-Insulating III-V Materials Conf. (Kah-Nee-Ta,Or), D. C. Look And J. S Blakemore, Eds, Natwich, Uk Shiva, p.222, 1984.
- [26] J.R.Tellez, T.A.Mediavilla, A.Tazon « Characterization thermal and frequencies distortion effects in GaAs MESFET devices », Ieee Tran. M.T.T, vol 49 (7), 2001.
- [27] K. Friche, H. Hartnagel, R. Schutz Et Al, « A new GaAs technology for stable fets at 300°C », Ieee Electron Device Letters, vol 10 (12), p.577, 1989.
- [28] S. M. Sze « Physics of semiconductor devices », 2e edition, A Wiley-Interscience, 1981.
- [29] Oliver Jardel « Contribution à la modélisation des transistors pour l'amplification de puissance aux fréquences microondes développement d'un nouveau modèles électronique de HEMT AlGaIn/GaN incluent les effets de pièges », Thèse Doctorat, Université de Limoges, France, 2008.
- [30] P. C. Canfield, S. C. F. Lam, D. J. Allstot « Modeling of frequency and temperature effects in GaAs MESFET's », Ieee. J. Solid-State Circuit, vol 25 (1), p.299, 1990.
- [31] S. H. Wemple, H. Huang « Thermal design of power GaAs FETs », In GaAs FET Principles And Technology, J. V. Dilorenzo And D. D. Khandelwac, Eds. Dedham, p.313, 1982.
- [32] D. H. Smith, A. Fraser, J. Oneil « Measurement and prediction of operating temperatures for GaAs Ics », Proc. SEMITHERM, vol 36, p.1, 1986.
- [33] Memon N. M. ; Ahmed M. M. ; Rehman F. N.M. Memon, M.M. Ahmed, F. Rehman, « A comprehensive four parameters I-V model for GaAs MESFET output characteristics », Solid-State Electronics, vol 51(3), p.511, 2007.

- [34] C. C. Penalosa, C. S. Aitchison « Modeling frequency dependence of output impedance of a microwave mesfet at low frequencies », Electron Lett, vol 21 (12), p.528, 1985.
- [35] L. E. Larson « An improved GaAs MESFET equivalent circuit model for analog integrated circuit application », Ieee. J. Solid-State Circuits, vol Sc-22 (4), p.567, 1987.
- [36] Y. Ohno, And All « Surface states effects on GaAs FET electrical performance », Ieee Tran. El.Dev, vol 46 (1), 1999.
- [37] A. Wakabayashi, Y. Mitani, K. Horio « Analysis of gate-lag phenomena in recessed-gate GaAs MESFET's », Ieee Tran. El. Dev, vol 49 (1), 2002
- [38] J. Lagowski, D.G. Lin, T. Aoyama, H. C. Gatos « Oxygen related midgap level in GaAs », In Proc.3rd Semi-Insulating III-V Materials Conf. (Kah-Nee-Ta,Or), D. C. Look And J. S Blakemore, Eds, Natwich, Uk Shiva, vol 44 (3), p.222, 1984.
- [39] S. Mellal « Optimisation des caractéristiques des transistors à effet de champ à l'arséniure de gallium à grille schottky MESFET GaAs », Thèse de Doctorat, Université Larbi Ben M'hidi –Oum El Bouaghi, 2015.
- [40] P. C. Canfield, S. C. F. Lam, D. J. Allstot « Modeling Of Frequency And Temperature Effects In GaAs MESFET's », Ieee. J. Solid-State Circuit, vol 25 (1), p.299, 1990.

\*\*\*\*\*

## Chapitre III

- [1] Z. Fares « Contribution à l'étude des propriétés thermiques des composants à effet de champs MESFET GaAs », Thèse de Doctorat, L'universite Mentouri Constantine 1, 2018.
- [2] R. H. Dawson « Equivalent circuit of the schottky – barrier field – effect transistor at microwave frequencies », Ieee Transactions On Microwave Theory And Techniques, vol 23, p.499, 1975.
- [3] F. Zohra Khelifati « Étude des effets thermiques dans les MESFETs via  $gd(f)$  », thèse de doctorat, Université Annaba, 2015.



*Production Scientifique*

## Modélisation de la Température Interne d'un MESFET à base d'Arséniure de Gallium

**Participante:** Ines Charef

**Co- authors:** Fatima Zohra Khelifati

**First Author e-mail address:** [charefines822@gmail.com](mailto:charefines822@gmail.com)

### Résumé :

Les MESFETs GaAs se caractérisent par d'excellentes performances : faible coefficient de bruit, haute conductivité thermique, simple technologie de fabrication, important gain pour applications micro-ondes. Également, ces composants à semi-conducteurs sont largement utilisés dans les amplificateurs pour des applications de communication [1-2]. Par ailleurs, étant donné que le MESFET est un dispositif unipolaire, l'effet fondamental de création de chaleur est majoritairement associé à l'effet Joule [3]. La chaleur est produite dans la région du canal due au flux de courant de drain et par conséquent à la puissance dissipée. Dans ce travail, nous présentons une simple technique pour déterminer la température de fonctionnement d'un MESFET GaAs utilisant une étude comparative des résultats théoriques et expérimentaux de la dispersion fréquentielle de la conductance de sortie  $g_d(f)$ . L'accord entre la théorie et l'expérimentale permet d'obtenir la température interne du composant fonctionnant à une polarisation donnée. Cette température varie linéairement avec  $V_{gs}$  : une augmentation de  $|V_{gs}|$  induit une décroissance dans cette température selon la loi :

$T_f (K) = T_0 + \beta V_{gs}$ . Enfin, nous pouvons conclure qu'il existe une étroite corrélation entre les conditions de polarisation du MESFET GaAs et sa température de fonctionnement.

**Keywords:** MESFET GaAs, Dispersion fréquentielle, Température interne, conductance de sortie.

### Références :

- [1] F. Djeflal, N. Lakhdar, An Improved analog electrical performance of submicron dual-material gate (DM) GaAs MESFETs using multiobjective computation, J comput Electron. 12 (2013) 29-35. <https://dl.acm.org/doi/10.1007/s10825-012-0430-y>
- [2] N. M. Memon, M.M. Ahmed, F. Rehman, A comprehensive four parameters I-V model for GaAs MESFET output characteristic solid state electron, 51 (2007) 511-516.
- [3] N. Kaddouri , La génération de chaleur dans un MESFET GaAs Submicronique , Journal of Scientific Research, 2 (2010) 180.



CHADLI BENDJEDID UNIVERSITY  
SCIENCES AND TECHNOLOGY FACULTY  
MATERIALS PHYSICO-CHEMISTRY LABORATORY



THE FIRST NATIONAL ONLINE CONFERENCE ON MATERIALS PHYSICS

## CERTIFICATE

This certificate is awarded to **CHAREF Ines** for the participation in "The first National Online Conference on Materials Physics" with an **ORAL** presentation entitled « **MODÉLISATION DE LA TEMPÉRATURE INTERNE D'UN MESFET À BASE D'ARSÉNIURE DE GALIUM** ».

**Co-authors:** KHELIFATI Fatima Zohra.

**Topic:** Simulation of Physical Properties of Materials.

**FACULTY DEAN  
DR. REDOUANI LOCIF**

**CNLPM'22 PRESIDENT  
PR. TEBIB WASSILA**



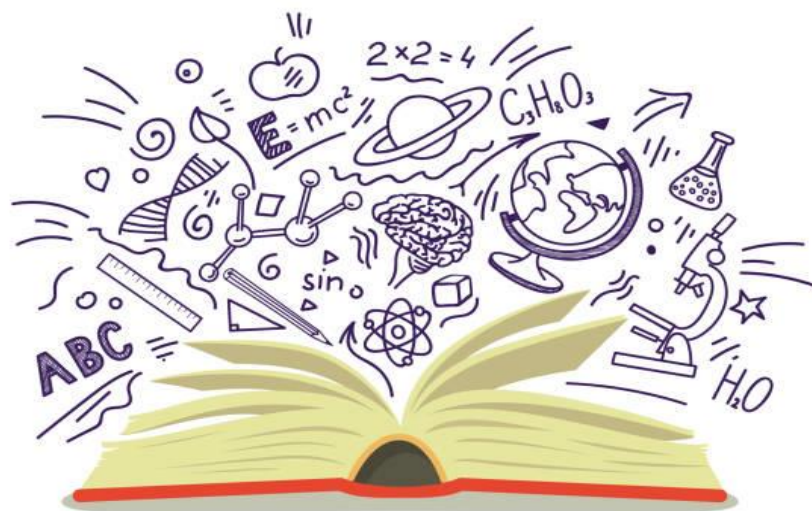
Pr. Tebib Wassila



**CNLPM 2022**  
9 JUNE, ELTARF-ALGERIA

***« Apprendre d'hier, vivre pour aujourd'hui, espérer pour demain et  
l'important est de ne pas arrêter de poser des questions »***

***Albert Einstein.***



تشكل ظاهرة تشتت أو تبدد التردد لموصلية الخروج و التسخين الذاتي عائقاً أمام تطوير الدارات المتكاملة المنطقية أو الرقمية ، التي تعتمد أساساً على ترانزستور التأثير المجالي ذو بوابة شوتكي ونصف ناقل زرنبيخ الغاليوم MESFET GaAs، اهتمت هذه الدراسة بمقارنة نتائج تجريبية وأخرى نظرية للتبدد الترددي لموصلية الخروج  $g_d$  المعتمدة على نموذج Canfield et al. لنحدد بعدها درجة الحرارة المثلى وتسمى أيضاً درجة حرارة تشغيل الترانزستور المقابلة لأفضل توافق بين النتائج التجريبية و النظرية. وتتعلق هذه الدرجة أساساً بجهد المصرف وجهد البوابة  $V_{gs}$  بحيث التزايد في قيم  $|V_{gs}|$  يؤدي إلى انخفاضها. حيث تمت هذه الدراسة في مجال الترددات [100 KHz– 0.01KHz] على نوعين من الترانزستورات ذات التأثير المجالي ذو بوابة شوتكي. بعد تفسير ومناقشة النتائج التجريبية والنظرية التي تم الحصول عليها في دراسات مختلفة، يمكننا أن نستنتج أن هناك علاقة وثيقة بين ظروف استقطاب MESFET GaAs ودرجة حرارة التشغيل.

\*\*\*\*\*

The phenomenon of frequency dispersion of the output conductance and self-heating constitute an obstacle to the development of logic or digital integrated circuits, which is mainly based on Schottky gate field effect transistors based on Gallium Arsenide, MESFET GaAs, this study aimed to compare the experimental and theoretical results of the frequency dispersion of the output conductance,  $g_d$ , the theoretical results based on the model of Canfield et al. We then determine the optimum temperature, also called the operating temperature of the transistor, corresponding to the best agreement between the experimental results and the theoretical ones. This temperature is mainly related to the drain-source voltage  $V_{ds}$  and the gate-source voltage,  $V_{gs}$ , so that the increase in  $|V_{gs}|$  induces its decrease. This study was performed in the frequency range [0.01 KHz - 100 KHz] on two types of Schottky Gate Field Effect Transistors, GaAs MESFET. After interpreting and discussing the experimental and theoretical results obtained in different polarizations, we can conclude that there is a close relationship between the polarization conditions and the operating temperature.

\*\*\*\*\*

Le phénomène de la dispersion fréquentielle de la conductance de sortie et l'auto-échauffement constituent un obstacle au développement des circuits intégrés logiques ou numériques, qui repose principalement sur les transistors à effet de champ à grille Schottky à base d'arséniure de galium, MESFETGaAs, cette étude visait à comparer les résultats expérimentaux et théoriques de la dispersion fréquentielle de la conductance de sortie,  $g_d$ , les résultats théoriques basé sur le modèle de Canfield et al. Déterminons ensuite la température optimale, encore appelée température de fonctionnement du transistor, correspondant au meilleur accord entre les résultats expérimentaux et celle théoriques. Cette température est principalement lié à la tension drain-source  $V_{ds}$  et à la tension grille-source,  $V_{gs}$ , de sorte que l'augmentation de  $|V_{gs}|$  induit sa décroissance. Cette étude a été réalisée dans la gamme de fréquences [0,01 KHz - 100 KHz] sur deux types de transistors à effet de champ à grille Schottky, MESFET GaAs. Après avoir interprété et discuté les résultats expérimentaux et théoriques obtenus dans différentes polarisations, nous pouvons conclure qu'il existe une relation étroite entre les conditions de polarisation et la température de fonctionnement.