

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE
N° : 2018/INST14/87



DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIES
FILIERE : Electronique
OPTION : Instrumentation

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par : BAZA Safa
MAROUF kanza

Intitulé

*Etude Statique de la Caractéristique
Electrique Courant-Tension d'une
Structure Schottky*

Soutenu devant le jury composé de :

FODIL M
CHABANE Rayene
MEZAACHE Hatem

Université de M'sila
Université de M'sila
Université de M'sila

Président
Rapporteur
Examineur

Année universitaire : 2017 /2018

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, nous remercions Allah, notre créateur de nos avoir donné les forces, la volonté et le courage afin d'accomplir ce travail modeste.

*Nous adressons le grand remerciement à notre encadreur **M^{me} CHABANE Rayene** qui a proposé le thème de ce mémoire, pour ses conseils et ses dirigés du début à la fin de ce travail.*

Nous souhaitons adresser un remerciement spécial aux membres du jury qui nous ont fait l'honneur de juger notre travail et d'accepter de participer à notre soutenance.

Un grand merci à l'ensemble des enseignants qui nous ont suivis durant notre cycle d'études.

Nous tient à exprimer notre gratitude à toutes les personnes aidez-nous à élaborer ce présent travail.



BAZA Safa

MAROUF kanza

Dédicace

Je dédie ce mémoire à :

Mes parents :

Ma mère, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.

Mon père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.

Mes frères (samir ,youcef) et sœurs(siham , fatima ,meriem) qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité.

Mes professeurs qui doivent voir dans ce travail la fierté d'un savoir bien acquis.

Mes amis proche (rima ,lila , hadda ,halima ,hamza)

Ma binôme : MAROUF Kanza

BAZA safA

Dédicace

Avec tous mes sentiments de tendresse, Je

dédie ce travail à mes chères parents .

leur amour et patience mérite ma reconnaissance .

A mes chères frères et sœurs .

Sans oublier les petits enfants Djinane Assomi, Abrar

A mes amies : Afaf, Amina khadidja

Et ma binôme : BAZA Safa

A tous ce que m'aiment.

Marouf Kanza

Sommaire

Résumé

Remerciements

Dédicaces

Sommaire

| | |
|------------------------------|----|
| Liste des figure | I |
| Liste des abréviations | II |
| Liste des tableaux | I |
| Introduction générale..... | 2 |

CHAPITRE I :LE CONTACT METAL/SEMI-CONDUCTEUR

| | |
|--|-----------|
| I. Introduction..... | 5 |
| II L'arséniure de gallium GaAs..... | 5 |
| <i>II.1 Structure cristalline.....</i> | <i>5</i> |
| <i>II.2. Structure de bande.....</i> | <i>5</i> |
| <i>II.3. Application.....</i> | <i>6</i> |
| <i>II.4. Propriétés électriques et physiques du GaAs.....</i> | <i>6</i> |
| <i>II.5. Avantages et inconvénients du GaAs.....</i> | <i>7</i> |
| III Théorie du contact métal semi-conducteur | 8 |
| IV Formation de la hauteur de barrière | 9 |
| <i>IV.1. Théorie de Schottky</i> | <i>9</i> |
| <i>a) Travail de sortie.....</i> | <i>9</i> |
| <i>b) Affinité électronique.....</i> | <i>10</i> |
| <i>IV.2 Jonction métal- semi-conducteur</i> | <i>11</i> |
| <i>IV.2.1 Avant contact.....</i> | <i>11</i> |
| <i>a. Cas où $\phi_m = \phi_{sc}$.....</i> | <i>11</i> |
| <i>b. Cas où $\phi_m > \phi_{sc}$ et $\phi_m < \phi_{sc}$.....</i> | <i>12</i> |

| | |
|---|-----------|
| IV.2.2 Mise en contact (étude à l'équilibre)..... | 12 |
| a. Cas où $\phi_m = \phi_{sc}$ à l'équilibre..... | 12 |
| b. Cas où $\phi_m > \phi_{sc}$ à l'équilibre..... | 13 |
| c. Etude des courants à l'équilibre..... | 15 |
| IV.2.3 Mise en contact (hors équilibre)..... | 17 |
| a. Cas où $\phi_m > \phi_{sc}$ sous polarisation..... | 17 |
| b. Cas où $\phi_m < \phi_{sc}$ sous polarisation..... | 18 |
| V Caractéristique courant-tension..... | 20 |
| VI Conclusion..... | 21 |

**CHAPITRE II : ETUDE COMPARATIVE ENTRE UNE JONCTION SCHOTTKY
ET UNE JONCTION PN CLASSIQUE**

| | |
|---|-----------|
| I Introduction..... | 23 |
| II La diode Schottky | 23 |
| II.1 Présentation..... | 23 |
| II.2 Qu'est-ce qu'une diode Schottky..... | 23 |
| II.3 D'où vient le nom de la diode Schottky ?..... | 23 |
| II.4 Qu'elles sont les composants d'une diode Schottky ?..... | 24 |
| II.5 Comment fonctionne une diode Schottky ?..... | 24 |
| II.6 Quelles applications nécessitent une diode Schottky ?..... | 24 |
| III Etude de la jonction PN d'un semi-conducteur..... | 25 |
| III.1 Introduction | 25 |
| III.2 Polarisation de la jonction en direct..... | 27 |
| III.3 Polarisation de la jonction en inverse..... | 28 |
| III.4 Effet de la température | 29 |
| III.5 La caractéristique électrique de la jonction PN..... | 30 |
| IV Etude comparative entre la diode Schottky et la diode PN..... | 31 |
| II.5 Conclusion | 34 |

CHAPITRE III: RESULTAT SIMULES ET DISCUSSIONS

| | | |
|------------|--|-----------|
| I | Introduction..... | 36 |
| II | Les caractéristiques courant-tension d'une diode Schottky | 36 |
| | <i>II.1 Caractéristique I-V de la diode Schottky idéale.....</i> | <i>36</i> |
| | <i>II.2. Influence de la température.....</i> | <i>38</i> |
| | <i>II.3 Influence du facteur d'idéalité (η).....</i> | <i>40</i> |
| | <i>II.4 Influence de changement du travail de sortie du métal.....</i> | <i>41</i> |
| | <i>II.5 Influence de changement de l'affinité électronique du semi-conducteur.....</i> | <i>42</i> |
| III | Conclusion | 43 |
| | Conclusion générale | 45 |
| | Références bibliographiques | 48 |

Liste des figures

| | |
|---|-----------|
| Figure (I.1) : Maille primitive du réseau cristallin GaAs | 05 |
| Figure (I.2) : Structure de bande d'énergie du GaAs dans les directions de haute symétrie. Le gap est 1,51eV à 0K et 1,43eV à 300K. Le fond de la bande de conduction est à $k = (0.0.0)$ | 06 |
| Figure (I.3) : Courbe caractéristique de la densité de courant J en fonction de la tension V (a) pour un contact Schottky et (b) pour un contact ohmique | 09 |
| Figure I.4 : Définition du travail de Sortie d'un métal | 10 |
| Figure (I.5) : Définition de l'affinité électronique pour un semi-conducteur | 10 |
| Figure I.6 : Contact métal-semi-conducteur avec $\phi_m = \phi_{sc}$ | 11 |
| Figure I.7 : Contact métal-semi-conducteur avec $\phi_m > \phi_{sc}$ et $\phi_m < \phi_{sc}$ | 12 |
| Figure I.8 : Contact métal-semi-conducteur avec $\phi_m = \phi_{sc}$ à l'équilibre | 12 |
| Figure I.9 : Etablissement de l'équilibre thermodynamique d'une diode Schottky dont $\phi_m > \phi_{sc}$, (a) deux matériaux isolés, (b) diagramme complet | 13 |
| Figure I.10 : Etude des deux cas : semi-conducteur de type N et P | 14 |
| Figure I.11 : Etablissement de l'équilibre thermodynamique d'une diode Schottky dont $\phi_m < \phi_{sc}$, (a) deux matériaux isolés, (b) diagramme loin de la jonction, (c) diagramme complet, (d) étude des deux cas : semi-conducteur de type N et P | 16 |
| Figure I.12 : Les trois grands types de courant dans une diode Schottky : (a) définition des barrières de potentiel, (b) courant thermoélectronique, (c) courant tunnel, (d) courant tunnel assisté par agitation thermique | 17 |
| Figure I.13 : Définition de la convention relative au courant et à la tension | 17 |
| Figure I.14 : Contact métal-semi-conducteur (n) avec $\phi_m > \phi_{sc}$ sous polarisation | 18 |
| Figure I.15 : Contact métal-semi-conducteur (p) avec $\phi_m < \phi_{sc}$ sous polarisation | 19 |

| | |
|---|-----------|
| Figure I.16 : Contact métal-semi-conducteur (p) avec $\phi_m < \phi_{sc}$ sous polarisation | 20 |
| Figure I.17 : Relation courant-tension | 21 |
| Figure II.1 : Représentation d'une jonction PN à l'équilibre thermodynamique | 26 |
| Figure II.2 : Jonction PN polarisée en direct | 28 |
| Figure II.3 : Jonction PN polarisée en inverse | 29 |
| Figure II.4 : Effets de la température | 30 |
| Figure II.5 : Caractéristique courant tension d'une diode 1N4148 | 31 |
| Figure II.6 : Comparaison des deux caractéristiques I-V d'une diode Schottky et d'une jonction PN | 33 |
| Figure III.1 : Caractéristique courant-tension du contact métal/semi-conducteur échelle linéaire, (b) échelle semi-logarithmique | 37 |
| Figure III.2 : Caractéristiques I-V du contact Schottky pour différentes valeurs de T (échelle semi-logarithmique) (a)Polarisation inverse, (b) polarisation directe | 39 |
| Figure III.3 : Caractéristiques I-V du contact Schottky pour différentes valeurs de η (a) échelle linéaire, (b) échelle semi-logarithmique | 40 |
| Figure III.4 : Caractéristique I-V du contact Schottky avec $\eta = 1.88$ (a) résultat simulé (b) résultat expérimental | 41 |
| Figure III.5 : caractéristiques J-V pour différents travaux de sortie du métal | 42 |
| Figure III.6 : caractéristiques J-V pour différentes affinités électroniques du semi-conducteur, $\phi_m = 4.3$ eV | 43 |

Liste des abréviations

| | | |
|------------------------------------|------------------------------|--|
| q | C | Valeur absolue de la charge de l'électron ($q = 1.6 \times 10^{-19}\text{C}$) |
| $q\phi_{b0}$ | ev | Barrière de potentiel de la diode Schottky à $V=0\text{V}$ (SBH) |
| $q\phi_m$ | ev | Travail de sortie du métal |
| $q\phi_{sc}$ | ev | Travail de sortie du semi-conducteur |
| $e\chi$ | ev | Affinité électronique du semi-conducteur. |
| E_C | ev | Énergie de la bande de conduction |
| E_F | ev | Énergie du niveau de Fermi |
| E_g | ev | Largeur de la bande interdite du semi-conducteur |
| E_v | ev | du Énergie du niveau le plus haut de la bande de valence dans le volume semi-conducteur. |
| A^* | $\text{A.m}^2.\text{k}^{-2}$ | Constante de Richardson de l'émission thermoionique |
| T | K | Température |
| m^* | Kg | Masse effective de l'électron |
| h | J.s | Constante de Planck ($h=6.62 \times 10^{-34}\text{J.s}$) |
| V | V | Tension appliquée |
| d_i | M | Épaisseur de la couche d'interface |
| D_{it} | $\text{ev}^1.\text{cm}^{-2}$ | Densité des états de surface. |
| ϵ | F/M | Permittivité électrique du semi-conducteur. |
| I_s | A | Courant de saturation. |
| n_i | m^{-3} | Concentration des porteurs intrinsèques |
| $N_c(N_v)$ | m^{-3} | Densité d'états effective de la bande de conduction (valence). |
| K | J.K | Constante de Boltzmann |
| A | m^2 | Surface de la diode |
| R_s | Ω | Résistance série de la région neutre du semi-conducteur |
| β | ev^{-1} | $\beta=q/KBT$ |
| τ_0 | S | Constante de temps en absence de la couche d'oxyde |
| qV_p | V | Différence d'énergie entre le niveau des porteurs majoritaires et la bande de valence du semi-conducteur |
| V_v | V | Chute de tension qui se produit dans le volume du semi-conducteur |
| V_{th} | m.s^{-1} | Vitesse thermique |
| $V_{Dn}(V_{Dp})$ | m.s^{-1} | Vitesse de diffusion effective des électrons (trous) à la surface de la |

| | | |
|------------------|------------------------------------|--|
| | | région de déplétion du semi-conducteur |
| $V_{Rp}(V_{Rn})$ | $m.s^{-1}$ | Vitesse thermique de recombinaison des trous (électrons) |
| n | Facteur d'idéalité de la diode | |
| MS | Contact métal-semi-conducteur | |
| SBH | La hauteur de la barrière Schottky | |
| SRH | Formalism de Schottky-Read-Hall | |

Liste des tableaux

Tableau I.1 : propriétés du GaAs à 300K

Tableaux I.2 : Les travaux de sortie de quelques métaux (a) et les affinités électroniques de quelques semi-conducteurs (b)

Introduction Générale

Introduction générale

La jonction PN et le transistor bipolaire sont des composants constitués de semi-conducteurs de dopages différents mais de même composition chimique (par exemple de Silicium). De tels composants sont qualifiés d'homojonction.

Si on assemble des matériaux de composition chimique différentes, on forme des hétérojonctions (ou encore hétérostructures).

On distingue deux grands types d'hétérostructures constituées de deux matériaux différents : le contact métal/semiconducteur et la jonction formée par deux semi-conducteurs différents.

La technologie des dispositifs électroniques à semi-conducteurs repose en grande partie sur des jonctions métal/semi-conducteur.

Les structures métal/semi-conducteur (diodes Schottky) sont des composants très utilisés en microélectronique, d'une part, pour la fabrication des circuits intégrés et d'autre part, comme composants de base dans la commutation.

Les contacts Métal-Semiconducteur consistent donc en existence d'une barrière de potentiel, des mécanismes de transport de charges et des états de surface. Ils peuvent se comporter soit comme un contact redresseur (barrière de Schottky) soit comme un contact ohmique suivant la nature du métal et du semi-conducteur donc des caractéristiques de l'interface.

Les contacts MS redresseurs sont utilisés, en pratique, dans le domaine de la radiofréquence et dans les circuits analogiques ; leurs particularités résident en l'absence presque totale des porteurs minoritaires et leurs faibles capacités. En revanche, les contacts MS ohmiques sont très utiles pour les interconnexions dans les circuits intégrés.

La diode métal semi-conducteur est constituée d'un contact établi entre un métal et un semi-conducteur, en général dopé. C'est le premier vieux dispositif électronique connu, datant de la fin du 19^{ème} siècle, les premiers redresseurs solides étant basés sur cette structure, la première théorie de fonctionnement, proposé par Bethe, ne remonte cependant qu'à 1938.

Les différentes caractéristiques électriques de ces composants actifs et en particulier les phénomènes de transport de courant seront étudiés de manière à faire une meilleure approche à la réalisation de circuits intégrés.

Dans ce cadre s'inscrit l'objectif de notre travail qui est la simulation des caractéristiques électriques (I-V) des structures Schottky, et l'étude de l'effet de quelques

paramètres (température, facteur d'idéalité, travail de sortie du métal ainsi que l'affinité électronique du semiconducteur).

A cet effet, notre mémoire se présente en trois chapitres.

Dans le premier, nous avons commencé par donner des supports théoriques nécessaires pour la compréhension du fonctionnement des structures étudiées. Nous avons, ensuite, présenté, les modèles théoriques utilisés pour rendre compte des processus de transport qui peuvent régir le transport de charges dans nos structures.

Le second chapitre est basé sur une étude comparative entre la jonction Schottky et la jonction PN classique.

Dans le troisième chapitre, nous présenterons nos résultats simulés avec discussions.

A la fin, nous terminerons par une conclusion générale où on récapitule tous les résultats obtenus dans ce modeste travail.

Chapitre I :

Le contact Métal/Semi-Conducteur

I. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter les propriétés physiques et électriques de l'arséniure de gallium (qui est le composant de base de notre contact) ainsi que la théorie du contact métal-semi-conducteur (étude à l'équilibre et hors équilibre). En plus, la caractéristique électrique de la diode Schottky sera présentée.

II. L'arséniure de gallium GaAs

II.1. Structure cristalline

L'arséniure de gallium est un composé intermétallique semi-conducteur à hétéro structure du type III-V, cristallise dans une structure de type Zinc-blende (figure. I.1). Cette dernière est composée de deux réseaux cubiques à faces centrées interpénétrant, l'un déplacé par rapport à l'autre d'une distance $(a/4, a/4, a/4)$ le long de la diagonale. Le réseau de Bravais fondamental est cubique à faces centrées avec un motif constitué de deux atomes, l'un Ga et l'autre As dans les positions $(0, 0, 0)$ et $(1/4, 1/4, 1/4)$ respectivement. C'est une structure analogue à celle du germanium et du silicium. La liaison entre les deux plus proches voisins est de caractère ionique partiel et covalent partiel (la liaison est formée par deux électrons de spin différents). On dit que chaque atome d'arsenic (V) fournit un électron à un atome de gallium (III)[1]

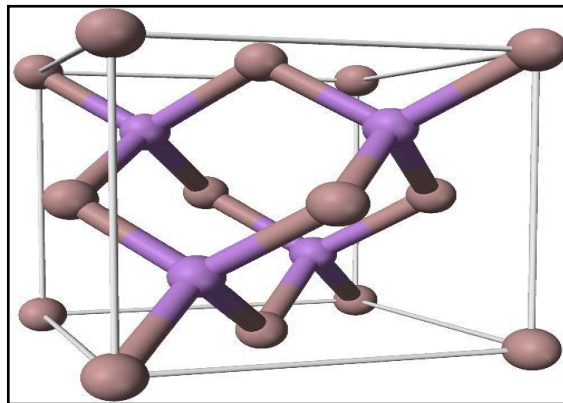


Figure I.1 : Maille primitive du réseau cristallin GaAs

II.2 Structure de bande :

Le composé GaAs possède une bande interdite direct (figure. I.2). La transition d'énergie minimale entre ses deux bandes peut avoir lieu sans changement de vecteur d'onde, ce qui permet l'absorption et l'émission de lumière de façon beaucoup plus efficace que dans les matériaux à gap

indirect comme le silicium.

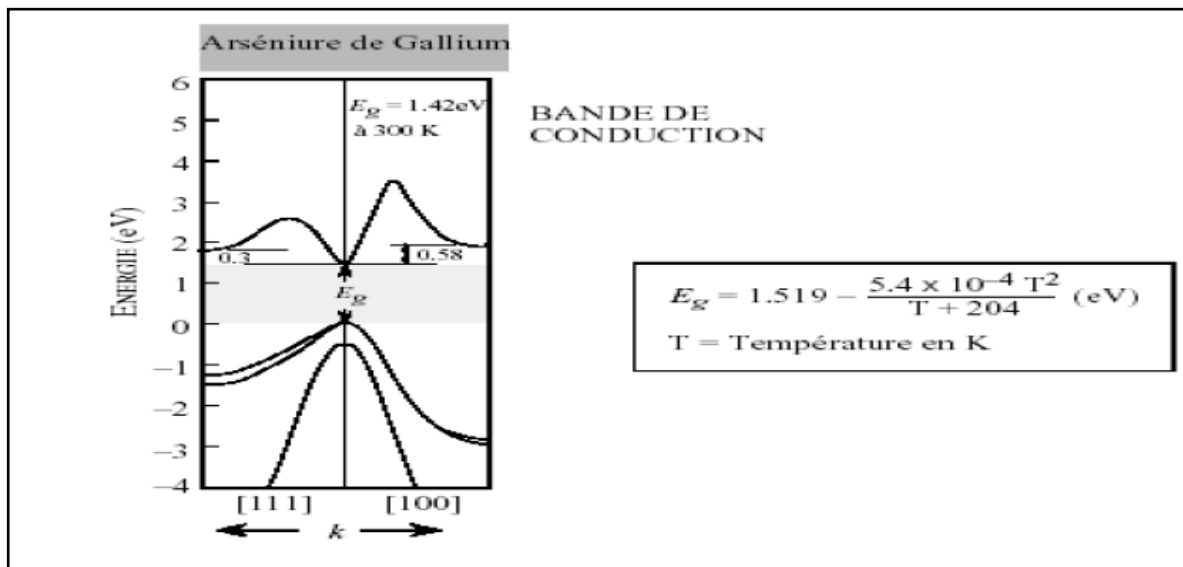


Figure I.2 : Structure de bande d'énergie du GaAs dans les directions de haute symétrie.
Le gap est 1,51eV à 0K et 1,43eV à 300K.
Le fond de la bande de conduction est à $k = (0.0.0)$ [2]

II.3. Application

La bande interdite directe du GaAs confère des propriétés d'absorption optique et de luminescence importantes susceptibles d'être exploitées en optoélectronique. La grande mobilité électronique (8600 cm/V.s dans le matériau intrinsèque) et la faible mobilité des trous (250 cm/V.s dans le matériau intrinsèque) permettent son utilisation pour les composants électroniques rapides tels que les transistors. Ce composé est ainsi utilisé dans les redresseurs, les photoconducteurs et les diodes à laser. On obtient un laser à semi-conducteur en clivant une simple jonction p-n polarisée dans le sens direct, réalisée dans un matériau à saut de bande direct comme le GaAs.

Dans tous les cas, les matériaux de départ sont des monocristaux de GaAs de propriétés contrôlées.

Les dispositifs à hétéro structures III-V offrent des performances attractives, non seulement pour des applications militaires et spatiales, mais surtout pour de nombreuses applications commerciales autrement dit tous les dispositifs à hétéro structure III-V trouvent une technologie concurrente plus aisée à maîtriser.

II.4. Propriétés électriques et physiques du GaAs

Les propriétés physiques et électriques de l'arséniure de gallium à la température ambiante

(300K°) sont regroupées dans le tableau suivant :

| <i>Propriétés</i> | <i>GaAs</i> |
|---|-------------------------------|
| <i>Nombre d'atome (s/cm³)</i> | <i>4.42 10²²</i> |
| <i>Poids atomique (g/mole)</i> | <i>144.63</i> |
| <i>Structure cristalline</i> | <i>Zinc Blinde</i> |
| <i>Densité (g/cm³)</i> | <i>5.32</i> |
| <i>Constante diélectrique</i> | <i>13.1</i> |
| <i>Densité effective d'états dans la B.C.(cm⁻³)</i> | <i>NC=4.7 10¹⁷</i> |
| <i>Densité effective d'états dans B.V.(cm⁻³)</i> | <i>NV=6 10¹⁸</i> |
| <i>Affinité électronique (V)</i> | <i>4.07</i> |
| <i>Largeur de la bande interdite (eV)</i> | <i>1.424</i> |
| <i>Concentration interdite (eV)</i> | <i>1.79 10⁶</i> |
| <i>Résistivité intrinsèque (eV)</i> | <i>10⁸</i> |
| <i>Température de fusion (W.cm)</i> | <i>1238</i> |
| <i>Durée de vie des porteurs minoritaires (s)</i> | <i>~10⁸</i> |
| <i>Mobilité d'entraînement (cm²/V.S) ;</i> <i>Trous</i> | <i>400</i> |
| <i>Electrons</i> | <i>8500</i> |
| <i>Vitesse d'entraînement cm/s</i> | <i>2 10⁷</i> |

Tableau I.1 : Propriétés du GaAs à 300K[2,3]

II.5. Avantages et inconvénients du GaAs

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

Le GaAs, dont les avantages par rapport au silicium résident en particulier dans la possibilité d'obtenir un matériau semi isolant et aussi dans une mobilité électronique plus élevée (sept fois plus grande que celle du silicium). Ces deux dernières propriétés étant favorables à un fonctionnement à fréquence élevée. Ces caractéristiques ont rendu ce matériau très prometteur

pour répondre aux nouvelles exigences dans les domaines des hautes fréquences et de l'optoélectronique.

Dans le domaine des composants optoélectroniques, on utilise surtout les propriétés de sa structure de bande (gap direct) et celles de ses composés ternaires et quaternaires (GaAlAs, GaAsP, GaInAs et GaInAsP). Ainsi, le développement de la technologie de fibres optiques à faible perte et la maîtrise de l'élaboration de GaAs ont abouti à la réalisation d'ensembles de télécommunications optiques utilisant des émetteurs lasers à semi-conducteur GaAs et GaAlAs [4].

Un autre atout très important de ce matériau est la possibilité de l'obtenir sous forme semi isolant ; cet état de résistivité élevée est particulièrement favorable pour le développement d'une véritable technologie planaire de circuits intégrés sur GaAs. Aussi la largeur de sa bande interdite relativement importante qui autorise un fonctionnement à haute température.

L'inconvénient majeur du GaAs est son coût élevé. Par exemple, les circuits intégrés en arséniure de gallium sont beaucoup plus cher : le matériau ne s'obtient qu'en plaquettes de 3 à 4 pouces de diamètre (de 7,5 à 10 cm) au maximum, ce qui limite le nombre de circuits intégrés fabriqués ; sa physicochimie se prête moins bien que le silicium aux associations de matériaux (semi-conducteurs, isolants, métaux) requis par les circuits intégrés, ce qui rend les méthodes de fabrication plus délicates et les rendements de fabrication plus faibles. Ces handicaps limitent l'arséniure de gallium aux utilisations où il est indispensable, à savoir lorsque l'on veut des circuits fonctionnant à des fréquences supérieures à 1 gigahertz [4].

III. Théorie du contact métal-semi-conducteur

Les contacts métal-semi-conducteurs (MS) peuvent être simplement réalisés en déposant une couche métallique par la technique d'évaporation sous vide ou par la méthode de pulvérisation cathodique à la surface d'un cristal semi-conducteur[1].

Dans la pratique, les contacts (MS) peuvent se comporter comme des contacts redresseurs (Schottky) ou comme des contacts ohmiques. La figure (I.1) illustre la caractéristique électrique de la densité du courant en fonction de la tension de polarisation pour un contact redresseur

(Figure. I.1.a) et pour un contact ohmique (figure. I.1.b). Le contact redresseur bloque le passage du courant en inverse et possède une faible tension de seuil en direct comme le montre la figure.

Le contact ohmique, quant à lui, laisse passer le courant quelle que soit la polarisation comme le montre la figure (I.3).[5]

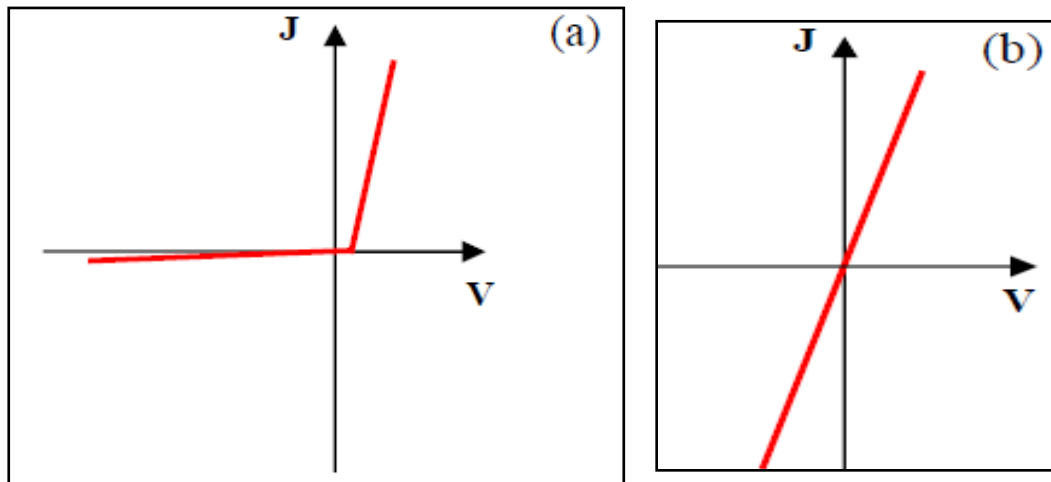


Figure I.3 : Courbes caractéristiques de la densité de courant J en fonction de la tension V , (a) pour un contact Schottky et (b) pour un contact ohmique [5]

IV. Formation de la hauteur de barrière

IV.1 Théorie de Schottky

Le contact métal semi-conducteur est ohmique ou redresseur suivant la différence des travaux de sortie et le type du semi-conducteur. [6]

a. Travail de sortie

Dans le métal, l'électron de conduction est soumis à un ensemble de forces d'interaction dont la résultante est nulle. Il en résulte que cet électron est libre de se déplacer sous l'action d'un champ appliqué par exemple. Quand l'électron atteint la surface du métal, la compensation des forces d'interaction entre-elles n'est plus totale, l'électron est retenu à l'intérieur du métal. Pour extraire cet électron, il faut lui fournir de l'énergie.

Au zéro degré absolu, tous les électrons libres sont situés dans la bande de conduction au-dessous du niveau de Fermi. Il en résulte que l'énergie minimum qu'il faut fournir pour extraire un électron du métal, est l'énergie nécessaire à l'extraction d'un électron du niveau de Fermi pour l'amener au niveau du vide NV . Cette quantité est appelée travail de sortie du métal et est notée $q\phi_m$ [7].

Le travail de sortie d'un métal (figure. I.4) est donc donné par l'expression suivante :

$$q\phi_m = NV - E_F \text{ (I. 1)}$$

Où NV représente l'énergie d'un électron extrait du corps et sans vitesse initiale. C'est l'énergie potentielle de l'électron dans le vide au voisinage du corps étudié.

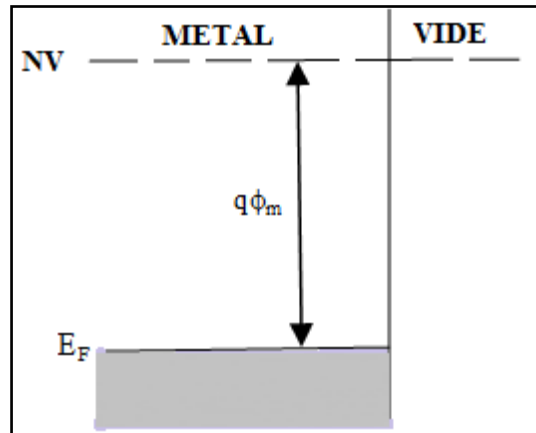


Figure I.4 : Définition du travail de Sortie d'un métal [7]

b. Affinité électronique

Dans les semi-conducteurs et les isolants, le travail de sortie $q\phi_{sc}$ est défini de la même manière. Cependant, pour les semi-conducteurs, la position du niveau de Fermi dépend du dopage et $q\phi_{sc}$ n'est pas une constante physique du matériau. Sauf pour les semi-conducteurs dégénérés, il n'y a pas d'électron au niveau de Fermi. On définit alors l'affinité $q\chi_{sc}$ électronique comme l'énergie qu'il faut fournir à un électron situé au bas de la bande de conduction pour l'amener au niveau du vide. Cette grandeur est une constante physique du semi-conducteur : et est donnée par l'expression [7] :

$$q\chi_{sc} = NV - E_C \quad (I.2)$$

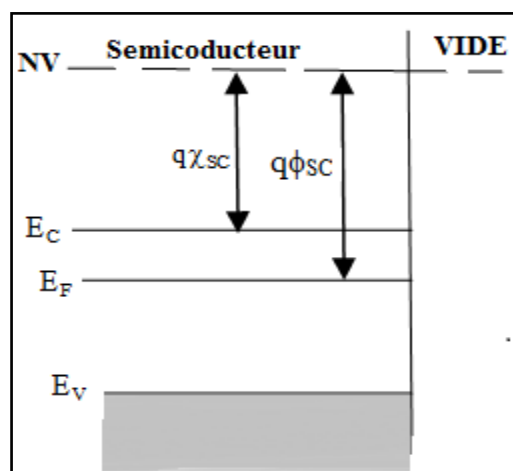


Figure (I.5) : Définition de l'affinité électronique pour un semi-conducteur

Les tableaux (I.2.a) et (I.2.b) donnent les travaux de sortie de quelques métaux et les affinités électroniques de quelques semi-conducteurs utilisés en microélectronique [7] :

| Métaux | | SC (b) | | |
|--------|----------------|--------|--------------|-------------------|
| Métal | $e\Phi_m$ (eV) | SC | $e\chi$ (eV) | $e\Phi_{sc}$ (eV) |
| Li | 2.3 | Si | 4.01 | 5.13 |
| Na | 2.3 | Ge | 4.13 | 4.79 |
| K | 2.2 | AlP | 3.44 | 5.89 |
| Rb | 2.2 | AlAs | 3.5 | 5.66 |
| Cs | 1.8 | AlSb | 3.6 | 5.2 |
| Fr | 1.8 | GaP | 4.3 | 6.55 |
| Cr | 4.6 | GaAs | 4.07 | 5.5 |
| Fe | 4.4 | GaSb | 4.06 | 4.74 |
| Ni | 4.5 | InP | 4.38 | 5.65 |
| Al | 4.3 | InAs | 4.9 | 5.26 |
| Cu | 4.4 | InSb | 4.59 | 4.66 |
| Ag | 4.3 | ZnS | 3.9 | 7.48 |
| Au | 4.8 | ZnSe | 4.09 | 6.76 |
| Pt | 5.3 | ZnTe | 3.5 | 5.76 |
| | | CdS | 4.5 | 6.92 |
| | | CdSe | 4.95 | 6.65 |
| | | CdTe | 4.28 | 5.73 |
| | | SiO2 | 1.1 | |

$e\Phi_m$ varie de 1.8 à 5.3eV
 $e\chi$ varie de 3.5 à 4.95eV

Tableaux I.2 : Les travaux de sortie de quelques métaux (a) et les affinités électroniques de quelques semi-conducteurs (b) [8]

IV.2 Jonction métal- semi-conducteur

IV.2.1 Avant contact

Soit ϕ_m le travail de sortie du métal, ϕ_{sc} le travail de sortie du semi-conducteur et χ_{sc} l'affinité électronique du semi-conducteur.

a. Cas où $\phi_m = \phi_{sc}$

Dans ce cas, les niveaux du vide étant identiques quand les deux matériaux sont séparés, il en est de même pour les niveaux de Fermi. Une barrière d'énergie s'établit à l'interface métal/semi-conducteur et aucun échange d'électrons ne se fait entre les matériaux puisque le niveau de Fermi n'a pas été modifié [6].

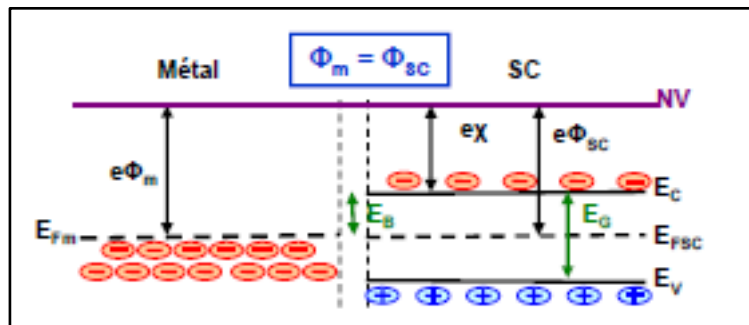


Figure I.6 : Contact métal-semi-conducteur avec $\phi_m = \phi_{sc}$ [9]

b. Cas où $\phi_m > \phi_{sc}$ et $\phi_m < \phi_{sc}$

Tant que les deux matériaux sont séparés (sans influence l'un sur l'autre), les niveaux de Fermi dans chacun d'entre deux sont horizontaux, mais à priori différents car il n'y a pas de référence commune. Si les matériaux sont électriquement neutres, seule l'énergie d'un électron dans le vide sans énergie cinétique est commune.

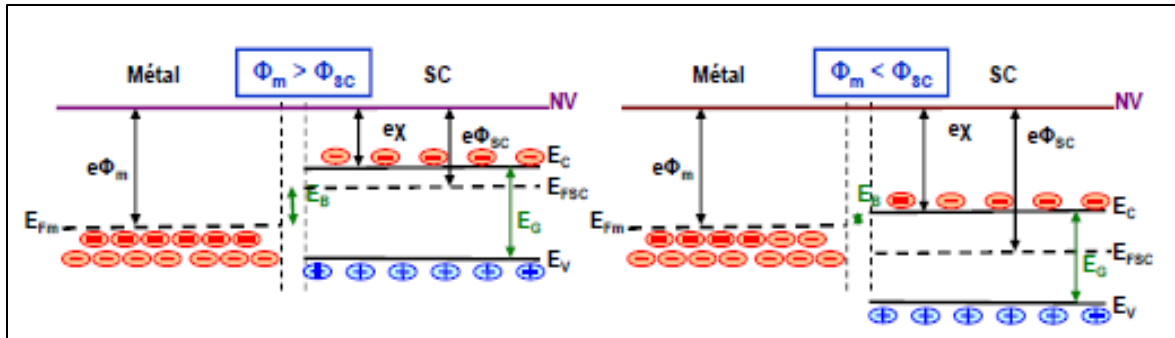


Figure I.7 : Contact métal-semi-conducteur avec $\phi_m > \phi_{sc}$ et $\phi_m < \phi_{sc}$ [9]

IV.2.2 Mise en contact (étude à l'équilibre)

a. Cas où $\phi_m = \phi_{sc}$ à l'équilibre

Une fois les matériaux sont au contact, le niveau de Fermi sera le même et constant dans chacun d'eux tant que le système n'est pas soumis à un champ électrique extérieur (régime de bandes plates). On peut dire dans ce cas que cette mise en contact est sans échange d'électrons entre le métal et le semi-conducteur. [9]

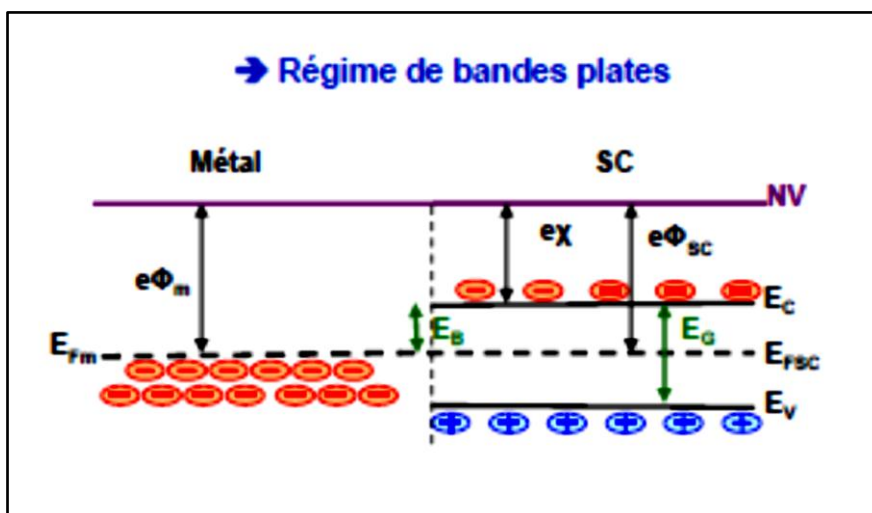


Figure I.8 : Contact métal-semi-conducteur avec $\phi_m = \phi_{sc}$ à l'équilibre [9]

b. Cas où $\phi_m > \phi_{sc}$ à l'équilibre

Nous allons présenter plus en détails le cas où $\phi_m > \phi_{sc}$. Nous pourrions alors adopter un raisonnement analogue pour le cas $\phi_m < \phi_{sc}$.

On ne va pas préciser le type du semi-conducteur, car il n'est pas nécessaire de connaître le type du semi-conducteur pour déterminer l'allure des bandes d'énergie. En revanche, le type du dopage permet de déterminer la nature de zone de charge d'espace (ZCE) de la jonction (accumulation ou zone de désertion).

La figure I.9. a montré le diagramme de bandes d'énergie dans le cas où le métal et le semi-conducteur sont isolés l'un de l'autre. Chaque système est caractérisé par son propre niveau de Fermi. Les deux niveaux du vide sont alignés. Les deux niveaux de Fermi ne sont pas alignés, puisque les travaux de sortie des deux matériaux sont différents.

Lorsque les deux matériaux sont accolés (figure I.9. b), et puisque le niveau de Fermi du semi-conducteur est au-dessus du niveau de Fermi du métal : il va donc y avoir une diffusion des électrons du semi-conducteur vers le métal. Cette diffusion va permettre un alignement des deux niveaux de Fermi pour permettre d'atteindre un état d'équilibre.

La densité d'état étant beaucoup plus élevée dans le métal que dans un semi-conducteur, les électrons diffusés vont se trouver localisés dans le métal en surface uniquement. Les bandes d'énergie côté métal, resteront identiques à l'équilibre initial.

Le départ des électrons provenant du semi-conducteur va en revanche provoquer une modification des bandes d'énergie sur une certaine distance, côté semi-conducteur [6].

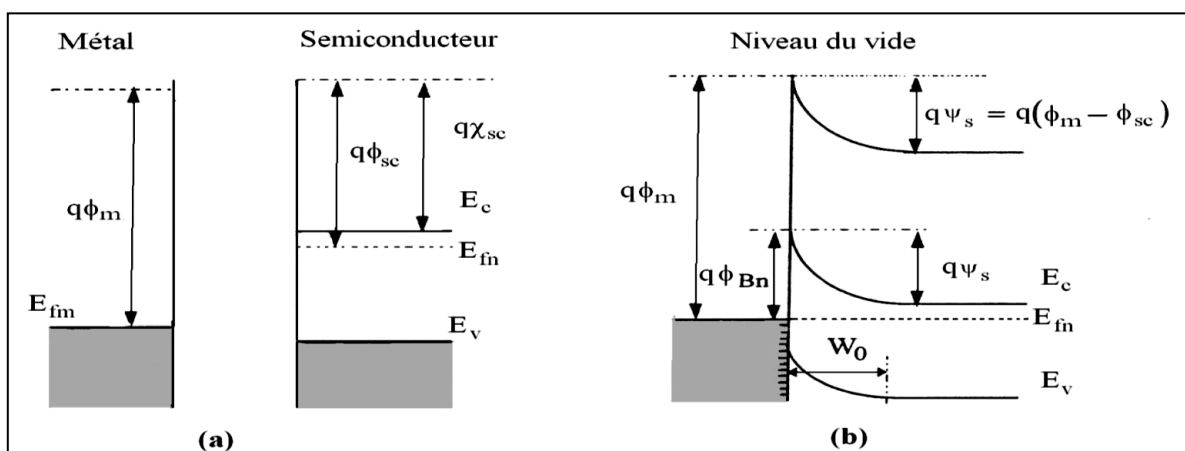


Figure I.9 : Etablissement de l'équilibre thermodynamique d'une diode Schottky dont $\phi_m > \phi_{sc}$, (a) deux matériaux isolés, (b) diagramme complet [10]

Coté métal, la barrière de potentiel $q\phi_{Bn}$ est égale à la différence entre le travail de sortie du métal et l'affinité électronique du semi-conducteur [1]:

$$q\phi_{Bn} = q(\phi_m - \chi_{sc})(a) \quad (I.3)$$

$$= q\psi_s + (E_c - E_{Fn})(b)$$

La hauteur de la barrière de potentiel $q\psi_s$ (dite aussi potentiel électrique) vue du côté semi-conducteur est alors égale à la différence entre le travail de sortie du métal et celui du semi-conducteur [1] :

$$q\psi_s = q(\phi_m - \phi_{sc}) \quad (I.4)$$

Deux cas sont à envisager : le semi-conducteur est soit de type N, soit de type P (figure I.10).

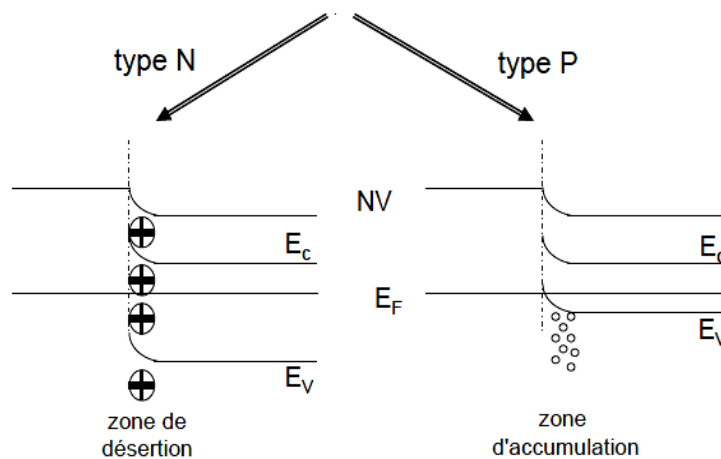


Figure I.10 : Etude des deux cas : semi-conducteur de type N et P [6]

- Si le semi-conducteur est de type N, le départ des électrons, proche de la jonction, va définir une zone de désertion (les atomes donneurs ne sont plus compensés par des électrons). Cette zone est chargée positivement.
- Si le semi-conducteur est de type P, les électrons vont diffuser également vers le métal. Ces porteurs étant minoritaires, le semi-conducteur va générer des paires électrons/trous pour compenser ce départ et tenter de restaurer l'équilibre initial. Les électrons générés sont diffusés vers le métal. On a donc un surplus de trous : une zone d'accumulation (de trous) apparaît en surface. Cette zone est chargée positivement.

Remarques

- ✓ Une zone de désertion est une zone chargée dépourvue de porteurs libres. La charge provient des atomes donneurs ou accepteurs (selon le type de semi-conducteur). C'est donc une zone fortement résistive.
- ✓ Une zone d'accumulation est également une zone chargée, mais elle comporte un très grand nombre de porteurs (supérieur à la densité de porteurs majoritaires définis à l'équilibre). Cette zone est donc faiblement résistive.

La figure I.11 montre le même raisonnement avec $\phi_m < \phi_{sc}$.

c. Etude des courants à l'équilibre

On distingue trois grands types de courant dans une diode Schottky :

- **Le courant thermoélectronique** (figure I.12. b). Il provient des électrons ou des trous de la zone quasi neutre et du métal, ayant une énergie suffisante pour franchir la barrière de potentiel. C'est par agitation thermique que certains électrons (ou certains trous) peuvent passer au-dessus de cette barrière et se retrouver dans le l'autre matériau de la jonction. C'est le courant principal de la diode Schottky.
- **Le courant tunnel** (figure I.12.c). Certains électrons peuvent franchir la barrière par effet tunnel et participer à un courant. Ce courant sera important dans certains cas.
- Un **courant mixte** : thermoélectronique et tunnel (figure I.12.d). Certains électrons peuvent avoir une énergie inférieure à celle de la barrière de potentiel et passer à travers par effet tunnel (courant tunnel assisté par agitation thermique). Ce courant est plus difficile à évaluer [6].

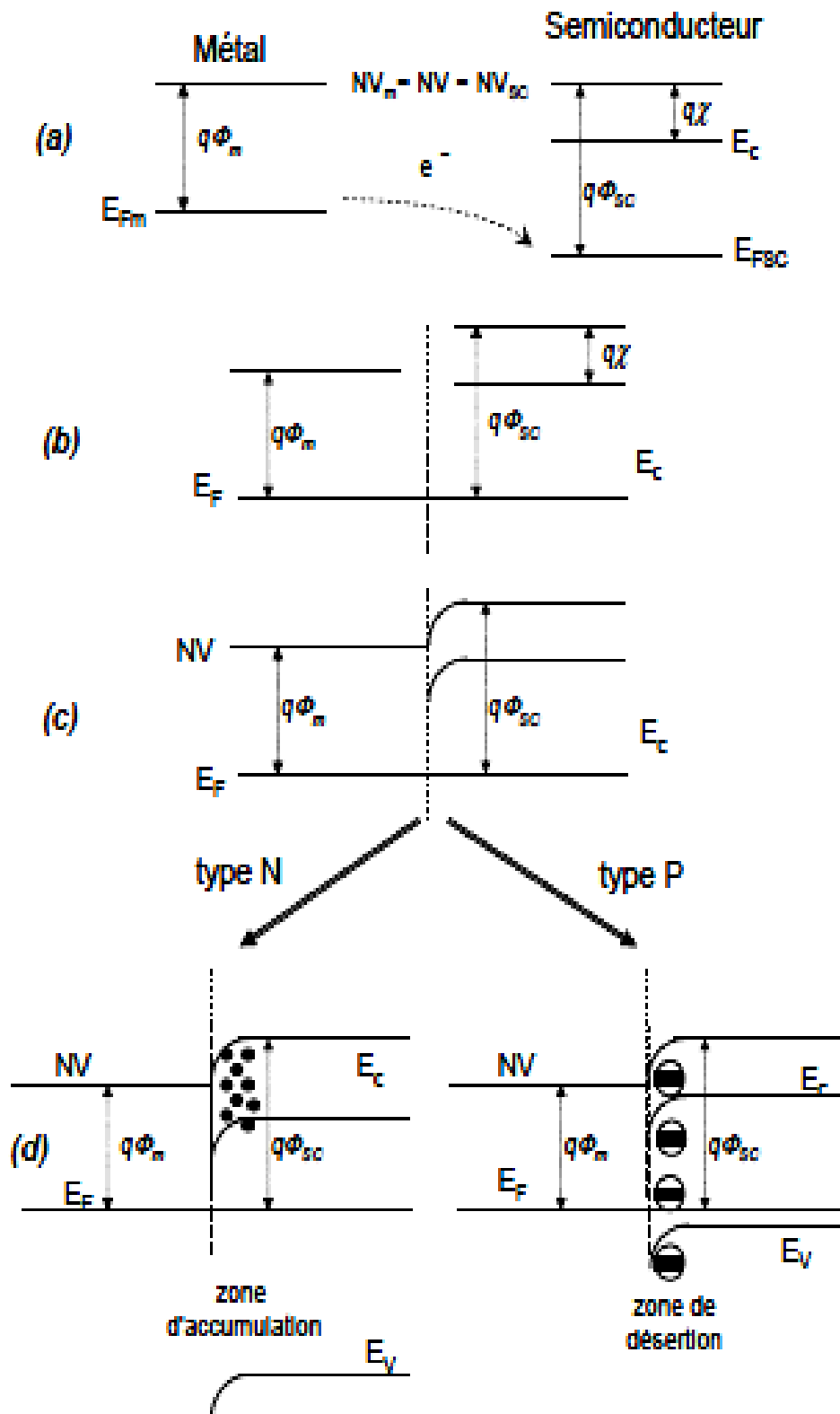


Figure I.11 : Etablissement de l'équilibre thermodynamique d'une diode Schottky dont $\phi_m < \phi_{sc}$, (a) deux matériaux isolés, (b) diagramme loin de la jonction, (c) diagramme complet, (d) étude des deux cas : semi-conducteur de type N et P [6]

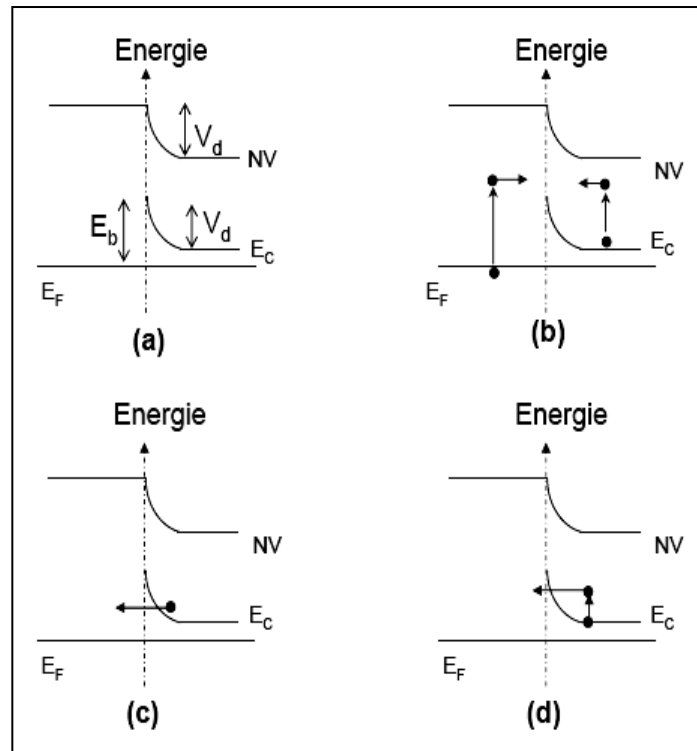


Figure I.12 : Les trois grands types de courant dans une diode Schottky : (a) définition des barrières de potentiel, (b) courant thermoélectronique, (c) courant tunnel, (d) courant tunnel assisté par agitation thermique [6]

IV.2.3 Mise en contact (hors équilibre)

Durant la suite de ce travail, nous adopterons les conventions de la figure (I.13). La tension V correspond à la différence de potentiel suivante : $V = V_m - V_{sc}$

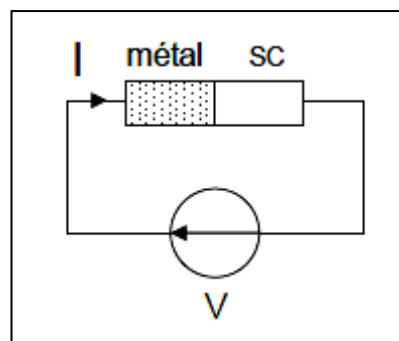


Figure I.13 : Définition de la convention relative au courant et à la tension

- a. Cas où $\phi_m > \phi_{sc}$ sous polarisation**
 - i. Le semi-conducteur est de type N**

Si on polarise positivement le métal par rapport au semi-conducteur de V , on va décaler le niveau des bandes d'énergie du semi-conducteur vers le haut de $[e.V]$. La courbure dans le semi-conducteur, à la jonction va s'atténuer.

La barrière énergétique du semi-conducteur vers le métal diminue, alors qu'elle reste inchangée en sens inverse. Des électrons du semi-conducteur vont diffuser plus facilement vers le métal. Un courant positif apparaît orienté du métal vers le semi-conducteur. C'est une configuration de diode polarisée en direct, Quand V sera égal à V_0 , on se retrouve dans le régime de bandes plates.

Si on polarise positivement le semi-conducteur par rapport au métal de V , on va décaler le niveau des bandes d'énergie du semi-conducteur vers le bas de $e.v$. On augmente la barrière qui s'oppose à la diffusion des électrons vers le métal. C'est une configuration de diode polarisée en inverse.

Finalement, quand $\Phi_m > \Phi_s$. avec un semi-conducteur dopé N, la structure a le comportement d'une diode appelée diode Schottky [6].

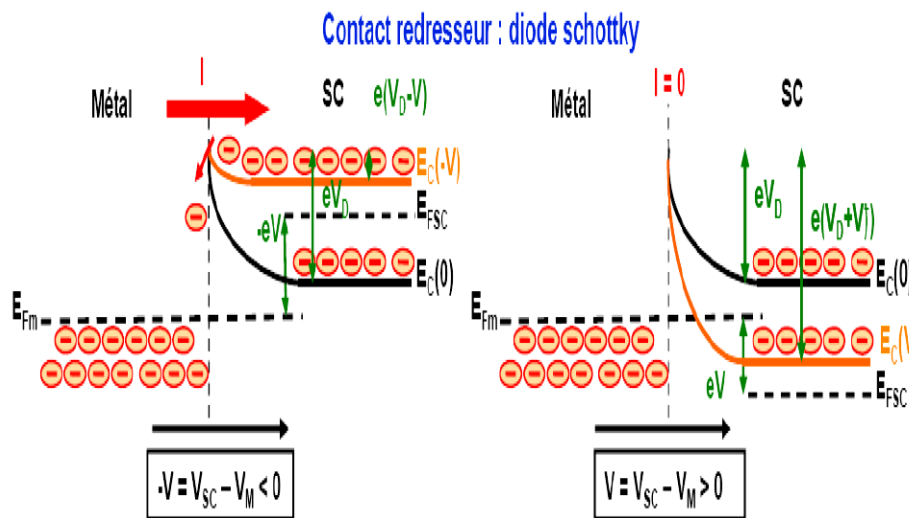


Figure I.14 : Contact métal-semi-conducteur (n) avec $\phi_m > \phi_s$ sous polarisation [9]

b. Cas où $\phi_m < \phi_{sc}$ sous polarisation

i. Le semi-conducteur est de type N

Quand on va polariser la structure, la polarisation va se distribuer dans tout le semi-conducteur qui est beaucoup plus résistif que le métal. Le comportement du semi-conducteur est résistif. La jonction a un comportement ohmique.

Un électron qui arrive à l'interface passe librement du métal au semi-conducteur ou inversement. En effet, il n'y a plus de zone isolante à l'interface et la tension appliquée n'est plus localisée dans une zone de déplétion, mais répartie dans toute la zone semi-conductrice. On aura donc dans cette zone un champ électrique, orienté du métal vers le semi-conducteur si V est négative et du semi-conducteur vers le métal si V est positive.

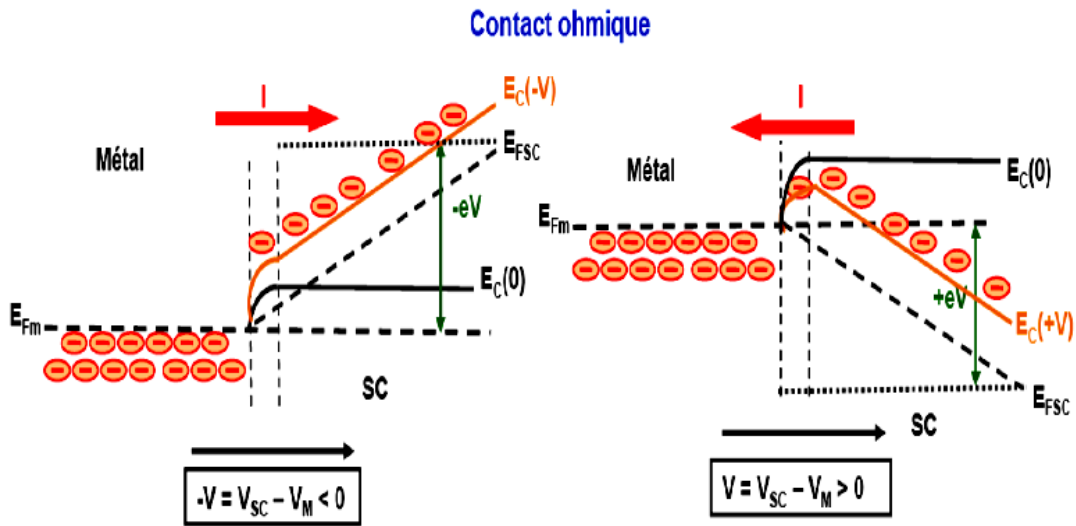


Figure I.15 : Contact métal-semi-conducteur (p) avec $\phi_m < \phi_{sc}$ sous polarisation

$$A_n^{**} = \frac{\theta_n A_n^*}{1 + \theta_n \frac{V_{Rn}}{V_{Dn}}} \quad (I.5)$$

ii. Le semi-conducteur est de type P

Les électrons passent du métal dans le semi-conducteur. Il apparaît un déficit d'électrons à la surface du métal. Dans le semi-conducteur, les électrons qui viennent du métal se recombinent avec les trous créant une zone de déplétion due à la présence des ions N_a^- qui ne sont plus compensés par les trous. Il apparaît ainsi une zone de charge d'espace étalée dans les semi-conducteurs. Le système évolue jusqu'au moment où le champ et la tension de diffusion résultants, arrêtent la diffusion des électrons (Figure I.16).

La hauteur de la barrière d'interface, que voient les trous pour passer du semi-conducteur au métal, est alors donnée par [11] :

$$E_b = E_g + e \chi - e \phi_m \quad (I.6)$$

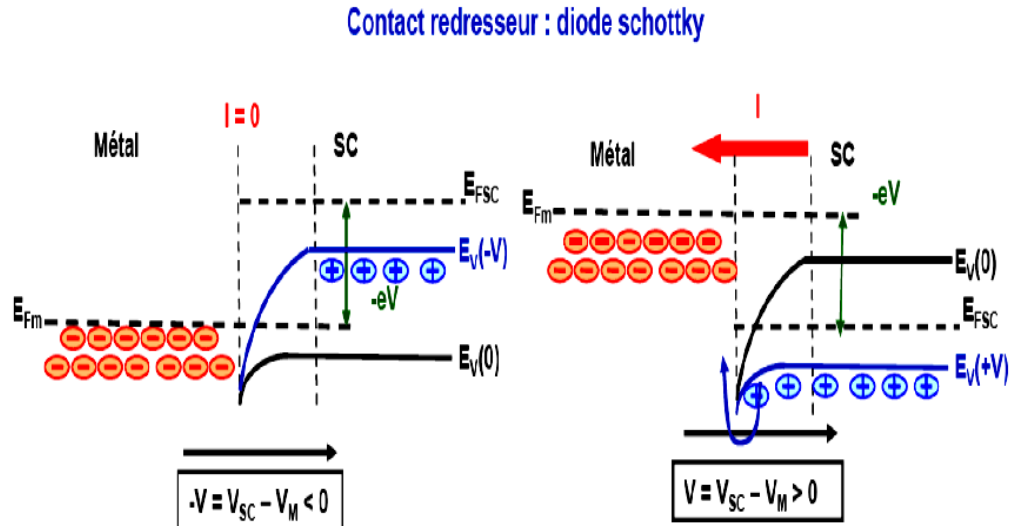


Figure I.16 : Contact métal-semi-conducteur (p) avec $\phi_m < \phi_{sc}$ sous polarisation[9]

V. Caractéristique courant-tension

Courant d'émission thermoélectronique

Le courant est dû aux porteurs majoritaires. A l'interface entre le métal et le semi-conducteur, il y'a émission thermoélectronique par-dessus de la barrière de potentiel. Nous allons considérer une structure métal-semi-conducteur de type n, avec $\phi_m > \phi_{sc}$ [12].

La densité de courant dans une jonction métal-semi-conducteur peut s'écrire :

$$J = A^*T^2 \exp\left(\frac{-q\phi_{Bn}}{KT}\right) \left[\exp\left(\frac{qV}{\eta KT} - 1\right) \right] \tag{I.7}$$

Ou A^* est la constante de Richardson donné par :

$$A^* = \frac{4\pi e m_e k_b^2}{h^3} \tag{I.8}$$

π : 3,14

q : charge de l'électron = $1.6 \cdot 10^{-19}$ C

m_e : masse effective du porteur considéré

k_b : Constante de Boltzmann :

h : Constante de Dirac

On peut écrire :

$$J = J_s \left[\exp\left[\frac{q(V)}{\eta k_B T}\right] - 1 \right] \tag{I.9}$$

avec

$$J_s = A^*T^2 \exp\left(\frac{-q\phi_{Bn}}{KT}\right) \quad (\text{I.10})$$

ϕ_{Bn} : la hauteur de la barrière de potentiel électrique

V : la tension aux bornes de la diode Schottky

η : facteur d'idéalité

T : la température

La caractéristique J-V d'une diode Schottky est représentée sur la figure (I.17) [11].

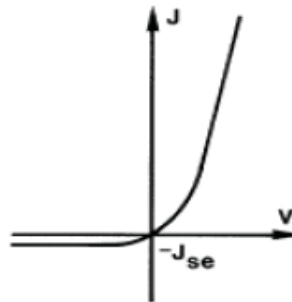


Figure I.17 : Relation courant-tension [11]

VI. Conclusion

On a vu dans ce chapitre le contact ou la jonction Schottky. Comment se comporte-t-il ? Est-ce qu'il joue bien son rôle de contact. En outre, nous avons vu que sous certaines conditions, la jonction Schottky peut être redresseuse, c'est-à-dire qu'elle peut jouer le rôle de diode. De telles diodes ont des propriétés intéressantes, notamment vis-à-vis des fréquences d'utilisation. Par ailleurs elles sont largement utilisées dans l'optoélectronique en tant que capteur.

Chapitre II :

***Etude Comparative entre une
jonction Schottky et une jonction
PN classique***

I. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons étudier la différence entre la diode PN classique et la diode Schottky. Pour réaliser ce but, nous commençons, par définir la diode Schottky et de présenter les propriétés électriques de la diode PN classique afin qu'on puisse faire la comparaison entre les deux.

II. La diode Schottky

II.1 Présentation

Les diodes Schottky sont des composants très courants dans le secteur de l'électronique. Elles sont utilisées dans des dispositifs de toutes tailles, allant des unités à basse puissance aux équipements industriels de grandes dimensions.

Ces composants appartiennent à la catégorie des diodes. Ce sont des composants électroniques qui régulent le flux électrique, autorisant son passage dans une seule direction et l'interdisant dans l'autre. Les diodes sont spécifiées pour fonctionner à différents niveaux de courant et de tension. Toute utilisation dans des capacités incompatibles avec leurs spécifications peut provoquer leur défaillance [13].

II.2 Qu'est-ce qu'une diode Schottky

Deux propriétés principales différencient diode Schottky des autres types de diodes. Premièrement, la chute de tension est beaucoup plus faible sur une diode Schottky que sur la plupart des autres types. Cette propriété donne à la diode Schottky une qualité particulièrement importante : un temps de commutation très rapide. Les systèmes équipés de ce type de diode bénéficient donc d'une excellente efficacité.

La rapidité de la commutation provient de la construction de ces diodes. Ce type de diodes nécessite très peu de temps pour passer d'un état à un autre (passage du courant, blocage du courant dans l'autre direction). Elle est plus rapide que les diodes conventionnelles qui peuvent normalement commuter à 100 ns [14].

II.3 D'où vient le nom de la diode Schottky ?

La diode Schottky doit son nom à Walter H. Schottky (1886-1976), un physicien allemand et un inventeur prolifique. Il a collaboré avec Siemens et plusieurs dispositifs électroniques lui sont attribués. Il a développé une équation (qui porte son nom) qui joue un rôle fondamental dans l'électronique moderne.

Une diode Schottky utilise une jonction métal-semi-conducteur. Cette jonction est appelée barrière de Schottky. Le fonctionnement de la diode est déterminé par l'asymétrie de l'interface entre le métal et le matériau semi-conducteur [15].

II.4 Qu'elles sont les composants d'une diode Schottky ?

Une diode Schottky a les mêmes composants de base qu'une autre diode, mais ses matériaux principaux diffèrent de ceux des diodes PN, qui sont les plus courants.

Ces composants de base incluent les fils qui la relient au circuit et les matériaux semi-conducteurs qui assurent son fonctionnement. Les diodes standards sont basées sur la jonction de deux semi-conducteurs de type N, le cœur d'une diode Schottky réunit un matériau semi-conducteur de type N (type P) et un métal. Les métaux utilisés incluent le chrome et le tungstène, mais aussi des métaux précieux comme le platine et palladium.

La diode Schottky a une chute de tension directe réduite, qui la rend très utile dans une multitude d'applications. Outre sa rapidité de commutation, cette simple variation de construction leur confère une très grande utilité [16].

II.5 Comment fonctionne une diode Schottky ?

Une des applications les plus utiles des diodes est basée sur le fait qu'elles peuvent passer d'un état conducteur à un état non-conducteur lorsque la direction du courant est inversée. Même les intervalles de commutation sont très courts, étant mesurés en nanosecondes, une diode à jonction PN a besoin de plus de temps qu'une diode Schottky pour changer d'état.

Lorsqu'une diode à semi-conducteur conventionnelle passe de l'état conducteur à l'état non-conducteur, un temps de récupération est nécessaire. Ce délai est inutile dans une diode Schottky parce qu'un des matériaux semi-conducteurs est remplacé par un métal. Par conséquent, comme une diode Schottky n'a pas une jonction à deux semi-conducteurs qui nécessite une récupération à chaque changement d'état, elle est capable de changer d'état presque instantanément. Cet avantage améliore l'efficacité du circuit [17].

II.6 Quelles applications nécessitent une diode Schottky ?

L'efficacité de ces diodes détermine le choix de leurs applications. Elles sont largement utilisées dans des mixers radio et des détecteurs de fréquence radio. Elles répondent aux

exigences de ces applications grâce à leurs capacités de fonctionnement à très à très hautes fréquences dans la gamme des MHz.

Les diodes Schottky servent aussi à protéger des transistors grâce à un processus appelé blocage de tension. Ce rôle est rendu possible par leur faible chute de tension.

Les diodes sont souvent utilisées comme une sorte de référence ou limite. Elles autorisent le flux dans une direction, mais le bloquent dans l'autre sens. Ce fonctionnement les rend très utiles pour protéger les dispositifs sensibles contre des courants circulants la direction opposée.

Si une batterie ou un groupe de batteries est rechargé par une source d'alimentation externe, le courant doit circuler dans une direction pour les recharger, sans que son sens de circulation ne soit jamais inversé, puisque cela viderait la ou les batteries. Les diodes Schottky sont couramment utilisées pour cette application spécifique.

Les systèmes d'alimentation à commutation utilisent aussi ces dispositifs pour contrôler le flux du courant. De tels systèmes alimentent de nombreux types de dispositifs, incluant des ordinateurs [17].

III. Etude de la jonction PN d'un semi-conducteur

La jonction PN constitue l'élément de base de toute l'électronique, et constitue le module élémentaire tout dépend le fonctionnement d'un grand nombre de dispositifs à semi-conducteurs.

III.1 Introduction

Une jonction PN est constituée de deux zones respectivement dopées P et N et juxtaposées d'une façon que nous supposons abrupte (fig.II.1), c'est à- dire que la transition de la zone P à la zone N se fait brusquement. Lorsque l'on assemble les deux régions, la différence de concentrations entre les porteurs des régions P et N va provoquer la circulation d'un courant de diffusion tendant à égaliser la concentration en porteurs d'une région à l'autre. Les trous de la région P vont diffuser vers la région N laissant derrière eux des atomes ionisés, qui constituent autant de charges négatives fixes. Il en est de même pour les électrons de la région N qui diffusent vers la région P laissant derrière eux des charges positives.

Il apparaît aussi au niveau de la jonction une zone contenant des charges fixes positives et négatives. Ces charges créent un champ électrique E qui s'oppose à la diffusion des porteurs de façon à ce qu'un équilibre électrique s'établisse [18].

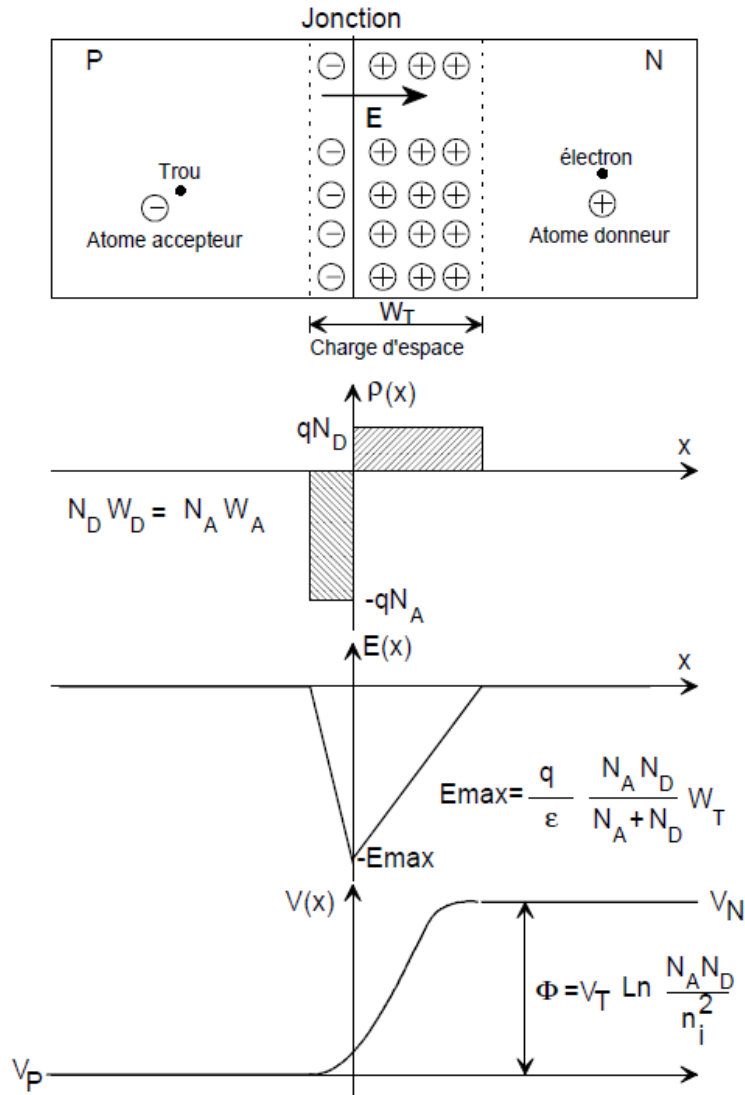


Figure II.1 : Représentation d'une jonction PN à l'équilibre thermodynamique

Les répartitions des charges, du champ électrique et du potentiel sont représentées sur la figure (II. 1). La région dépeuplée de porteurs mobiles est appelée zone de charge d'espace (ZCE). Elle a une épaisseur de l'ordre de 0,5 μm . La forme générale de la densité de charges dépend essentiellement du profil de dopage de la jonction. Dans le cas idéal, on peut déduire aisément la forme du champ électrique $E(x)$ ainsi que du potentiel $V(x)$ par application de séquations de l'électrostatique. En effet le potentiel $V(x)$ et le champ électrique $E(x)$ s'expriment en fonction de la densité de charges (x) :

La loi de Gauss s'exprime par la relation suivante [19]:

$$\frac{dE(x)}{dx} = \frac{1}{\epsilon} \rho(x) \quad (II. 1)$$

L'expression du champ électrique s'écrira :

$$E(x) = -\frac{dV(x)}{dx} \quad (II.2)$$

On peut remarquer que conformément à la relation de Boltzmann il existe une barrière de potentiel qui constitue le potentiel de diffusion de la jonction [20] :

$$V_\phi = U_T \ln \left[\frac{N_a N_d}{n_i^2} \right] \text{ où } U_T = \frac{kT}{q} \quad (II.3)$$

La largeur de la zone de transition est donnée par :

$$W_0 = \sqrt{\frac{2\epsilon_0 \epsilon_{Si}}{q} \left(\frac{1}{N_a} + \frac{1}{N_d} \right) V_\phi} \quad (II.4)$$

Pour : $N_a = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, $N_d = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, $W_0 = 0,96 \mu\text{m}$, $V_\phi = 0,75 \text{ V}$,

$$E_{0max} = 1,56 \cdot 10^4 \text{ V} \cdot \text{cm}^{-1} \text{ avec } \epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-14} \text{ F/cm}, \epsilon_{Si} = 12$$

III.2 Polarisation de la jonction en direct

Si on polarise la jonction sous une tension V_{direct} , elle réduit la hauteur de barrière qui devient $(V_\phi - V_{\text{direct}})$ entraînant une diminution de l'épaisseur de la Z.C.E (dans l'équation (5) V_ϕ est remplacé par $V_\phi - V_{\text{direct}}$). De nombreux électrons de la région N et de trous de la région P peuvent alors franchir cette barrière de potentiel et, se présentant alors dans un "milieu hostile" (P pour électrons et N pour les trous), ils sont recombinaison (figure (2)). Cette recombinaison consomme près de la Z.C.E des trous dans la région P (des électrons dans la région N). Pour rétablir l'équilibre, les trous de la région neutre P se mettent en mouvement vers la zone où se produit la recombinaison (déficit en trous). Les électrons de la région neutre N sont soumis à un phénomène analogue.

C'est ce phénomène de recombinaison locale qui explique la circulation du courant direct $I(A)$ dans la jonction.

$$\text{Ce courant s'écrit : } I_0 = \exp \left(-\frac{V_\phi - V_{\text{direct}}}{U_T} \right) \quad (II.5)$$

Sachant que le courant de saturation I_s correspondant aux porteurs minoritaires des zones Net P qui se présentent en bordure de la Z.C.E. On obtient le courant total qui circule dans la

$$\text{jonction : } I_A = I_s \left[\exp \left(\frac{V_{\text{direct}}}{U_T} \right) - 1 \right] \quad (II.6)$$

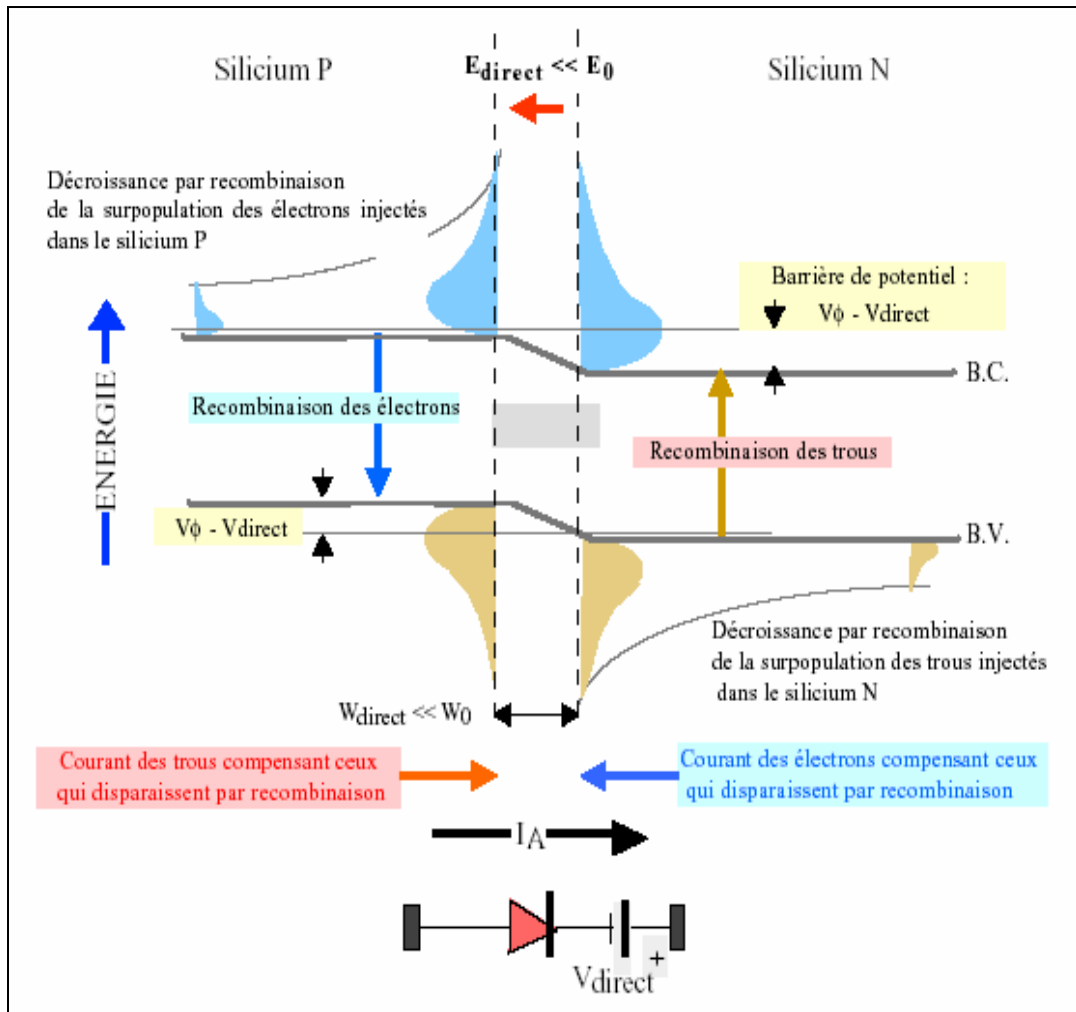


Figure II.2: Jonction PN polarisée en direct

III.3 Polarisation de la jonction en inverse

Si on polarise la jonction en sens inverse la hauteur de barrière de potentiel entre les régions P et N est renforcée par la tension extérieure appliquée et devient $V_f + V_{inv}$. Le champ électrique dans la zone de charge d'espace augmente. Les porteurs majoritaires des régions N et P n'ont pas l'énergie nécessaire pour sauter cette barrière de potentiel. La jonction est alors traversée par le très faible courant de saturation I_s . Ce courant issu du phénomène d'ionisation thermique du silicium, dépend uniquement de la température. La figure (II. 3) nous montre l'origine du courant inverse de saturation I_s de cette jonction.

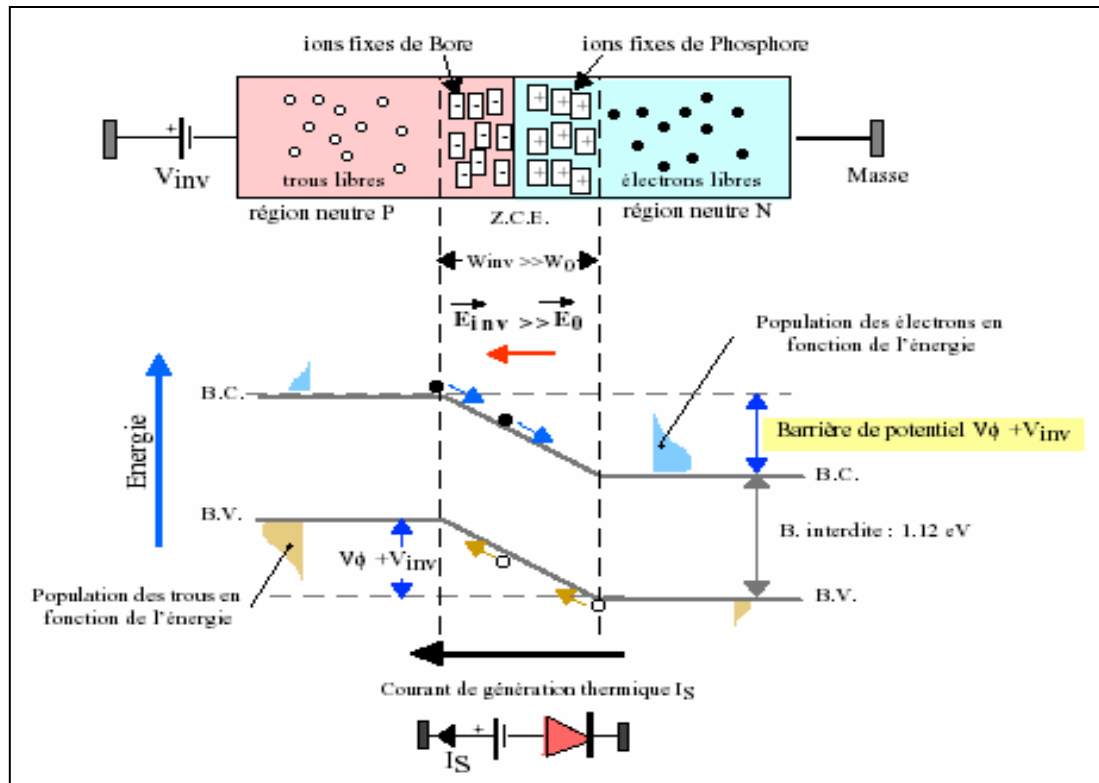


Figure II.3: Jonction PN polarisée en inverse

III.4 Effet de la température

La température de fonctionnement est un paramètre fondamental dans la détermination du fonctionnement des dispositifs à semi-conducteurs. Dans le cas de la jonction PN, le courant de saturation est essentiellement dû aux porteur minoritaires générés par agitation thermique. Ce courant de saturation sera donc particulièrement sensible à la température. L'effet de la température sur la caractéristique directe est déterminé par les relations suivantes :

$$I_D = I_S \left[\exp\left(\frac{qV_j}{K_p T}\right) - 1 \right] \quad (II.7)$$

Avec : $I_S = K T^m e^{\frac{-E_{g0}}{2KT}}$ (II.8)

Où : m=2 pour le Germanium ;

M =1.5 pour le Silicium ;

et m=1.5 pour L'arséniure de Gallium.

Pour trouver l'influence de la température sur la caractéristique de la jonction on dérive l'expression simplifiée du courant soit :

$$I \cong I_s e^{\frac{V}{hV_T}} \quad (\text{II. 9})$$

Nous avons :

$$\frac{dI}{dT} = \frac{dI_s}{dT} \cdot e^{\frac{V}{hV_T}} + \frac{dV}{dT} \cdot \frac{I_s}{hV_T} \cdot e^{\frac{V}{hV_T}} \cdot I_s \cdot \frac{q \cdot V}{hkT^2} \cdot e^{\frac{V}{hV_T}} \quad (\text{II. 10})$$

dI_s/dT présente la variation du courant inverse en fonction de la température.

Cherchons maintenant la variation dV/dT lorsque le courant I est maintenu constant (à l'aide d'un circuit extérieur) soit $dI = 0$ dans l'expression précédente. Nous avons alors :

$$\frac{dV}{dT} = \frac{V}{T} - \frac{h \cdot V_T}{I_s} \cdot \frac{dI_s}{dT} \quad (\text{II. 11})$$

Pratiquement pour une jonction au Silicium, à la température ordinaire nous avons :

$$dV/dT = -2,5 \text{ mV/C}^\circ$$

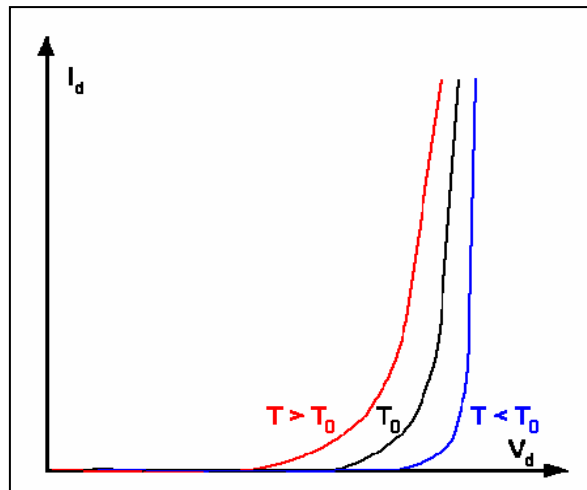


Figure II.4 : Effets de la température

On constate d'après la figure (II.4) que le courant augmente proportionnellement avec la température. Pour une diode au silicium, le courant direct double environ tous les 10 °C et la tension diminue quand la température augmente. La tension directe décroît linéairement avec un coefficient de température : $\Delta V_j / \Delta T \cong -2 \text{ mV/}^\circ\text{C}$. [21]

III.5 La caractéristique électrique de la jonction PN

L'allure de la caractéristique $I(V)$ de la diode est donnée à la figure II.5 à la fois en échelle linéaire et en échelle logarithmique. On note que la représentation en échelle logarithmique est une droite de pente q/kT pour des courants $I \gg I_s$. En effet on a :

$$\text{Ln} \left(\frac{I}{I_s} \right) = \frac{q}{kT} \cdot V \quad (\text{II. 12})$$

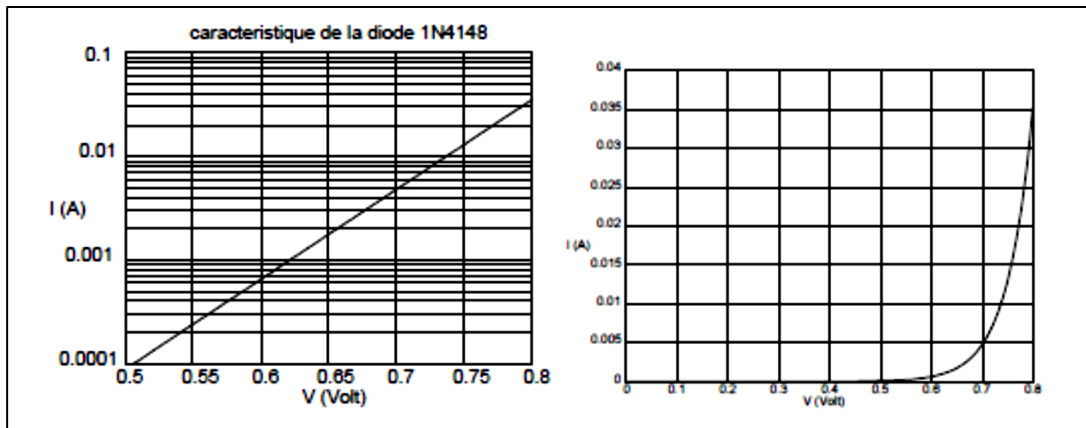


Figure II.5 : Caractéristique courant tension d'une diode 1N4148

IV. Etude comparative entre la diode Schottky et la diode PN

Bien que la relation courant-tension idéale de la diode Schottky revête la même forme que la diode à jonction PN, il y a deux différences importantes entre une diode Schottky et une jonction PN classique :

- ❖ La première différence réside dans les densités de courant de saturation inverse et ;
- ❖ La deuxième se trouve dans la caractéristique de commutation.

La densité de courant de saturation inverse de la diode Schottky a été donnée par l'équation (II.13) et est :

$$I_S = A * T^2 \exp\left(\frac{-q\phi_m}{KT}\right) \quad (II.13)$$

La densité de courant de saturation inverse idéale de la jonction PN peut être écrite comme :

$$I_{SPN} = \frac{qD_n n_{p0}}{L_n} + \frac{qD_p p_{n0}}{L_p} \quad (II.14)$$

La forme des deux équations est très différente et le mécanisme actuel dans les deux dispositifs est différent. Le courant dans une jonction PN est déterminé par la diffusion des porteurs minoritaires tout en courant dans une diode Schottky est déterminé par émission thermoionique des transporteurs de la majorité sur une barrière de potentiel. [18]

➤ Exemple 1

Le calcul des densités de courant inverse de saturation des deux diodes Schottky et PN.

Envisager un barreau de tungstène au contact avec un barreau de silicium (contact tungstène/silicium) avec une hauteur de barrière mesurée : $q\phi_m = 0.67\text{eV}$. La constante de Richardson est : $A^* = 114\text{A/K}^2 \cdot \text{cm}^2$ et $T = 300\text{K}$.

➤ Solution 1

- a. Nous avons pour la diode de barrière de Schottky :

$$J_s = A * T^2 \exp\left(\frac{-q\phi_m}{kT}\right) = (114)(300)^2 \exp\left(\frac{-0.67}{0.0259}\right) = 5.98 \times 10^{-15} \text{ A/cm}^2$$

b. Envisager une jonction PN au silicium avec les paramètres suivants à $T = 300 \text{ K}$:

$$N_A = 10^{18} \text{ cm}^{-3} \quad N_D = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$$

$$D_n = 25 \text{ cm}^2/\text{s} \quad D_p = 10 \text{ cm}^2/\text{s}$$

$$\tau_p = 10^{-7} \quad \tau_n = 10^{-7}$$

On peut ensuite calculer les paramètres suivants :

$$l_p = 1.0 \times 10^{-3} \text{ cm} \quad l_n = 1.58 \times 10^{-3} \text{ cm}$$

$$P_n = 2.55 \times 10^4 \text{ cm}^{-3} \quad n_p = 2.55 \times 10^2 \text{ cm}^{-3}$$

La densité de courant inverse de saturation idéale de la diode PN peut être déterminée à partir de l'équation (II.14) comme suit: [23]

$$J_s = \frac{(1.6 \times 10^{-19})(25)(2.25 \times 10^2)}{(1.58 \times 10^{-3})} + \frac{(1.6 \times 10^{-19})(10)(2.25 \times 10^4)}{(1.0 \times 10^{-3})}$$

$$J_s = 5.7 \times 10^{-13} + 3.66 \times 10^{-11} = 3.66 \times 10^{-11} \text{ A/cm}^2$$

➤ **Commentaire**

La densité de courant inverse de saturation de la jonction Schottky est d'ordre de grandeur plus grand que celle de la diode PN idéale.

Rappelons que le courant de saturation dans une jonction PN au silicium est dominé par la génération actuelle. Une densité de courant de production typique est environ 10^{-7} A/cm^2 qui est toujours 2 à 3 fois inférieure à la saturation de la diode Schottky.

Un courant de génération existe aussi dans la diode Schottky polarisée en inverse ; Cependant, la génération actuelle est négligeable.

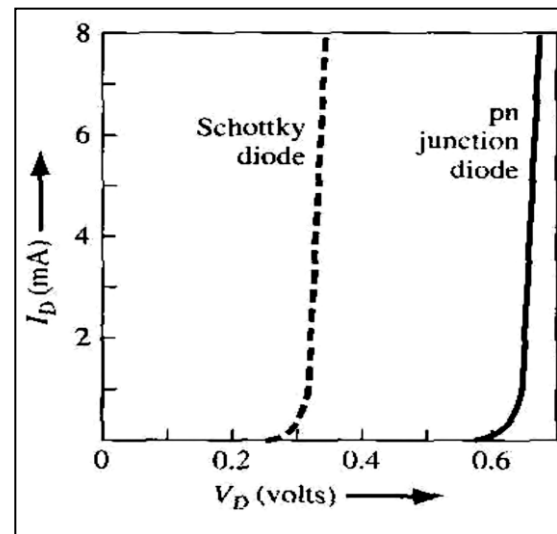
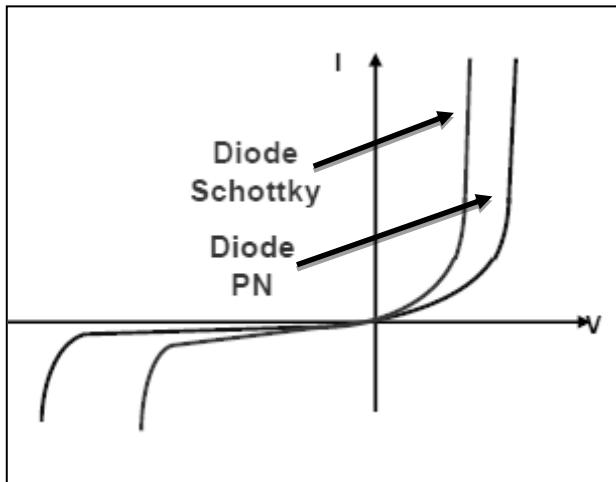
Les caractéristiques électriques $I-V$ des deux types de diodes seront également différentes. La figure II.6 montre les caractéristiques $I-V$ typique d'une diode Schottky et d'une diode PN.

La tension de fonctionnement efficace de la diode Schottky est inférieure à celle de la diode à jonction PN, ce qui la rend plus rapide par rapport à une diode classique. [18]

➤ **Exemple**

Le calcul de la tension de polarisation pour produire une densité de courant de polarisation de 10 A/cm^2 pour une diode Schottky et une diode à jonction PN.

Envisager les deux diodes avec les paramètres de l'exemple précédent à $T = 300 \text{ K}$.

➤ **Solution**

Pour la diode Schottky, nous avons :

$$I = I_s \left[\exp\left(\frac{qV}{KT}\right) - 1 \right]$$

Si on néglige le terme (-1), nous trouvons :

$$V = \left(\frac{KT}{q}\right) \ln\left(\frac{I}{I_s}\right) = (0.0259) \ln\left(\frac{10}{5.89 \times 10^{-5}}\right) = 0.312V$$

Pour la jonction PN on a : [23]

$$V = V_1 \ln\left(\frac{I}{I_s}\right) = (0.0259) \ln\left(\frac{10}{3.66 \times 10^{-11}}\right) = 0.682V$$

➤ **Commentaire**

- À la différence d'une diode PN classique, une diode Schottky est un composant unipolaire : un seul type de porteur est responsable du courant. Or les électrons sont des porteurs ayant une mobilité plus grande que celle des trous. Ils se déplacent "plus rapidement" dans le réseau cristallin que les trous (la masse effective associée à un électron est en effet plus élevée que la masse effective associée à un trou). La fréquence d'utilisation d'un composant unipolaire de type N sera donc plus élevée que celle d'un composant de type P (et donc qu'une jonction faisant intervenir les deux types de porteurs, comme c'est le cas dans une jonction PN). Contrairement à une jonction PN, le courant n'est pas lié à deux types de porteurs.
- En outre, le courant principal n'est pas un courant de diffusion de porteurs minoritaires ; or, il ne faut pas oublier qu'un mécanisme de diffusion est un mécanisme "lent" (dû

au caractère minoritaire des porteurs qui diffusent, les porteurs minoritaires subissent des recombinaisons.

- Enfin, une autre vision de cette utilisation en haute fréquence est la capacité interne : une diode Schottky ne possède pas de capacité de diffusion (puisque'il n'y a pas de courants de diffusion de porteurs minoritaires). La capacité globale est donc plus faible, c'est à dire que la fréquence de coupure est plus élevée. Mais les diodes Schottky ont d'autres caractéristiques : un fort courant inverse de saturation et une tension de seuil généralement plus faible qu'une diode à homo-jonction classique. Leur utilisation en basse fréquence n'est pas avantageuse. [18]

V. Conclusion

On a présenté dans ce chapitre une petite comparaison entre la barrière Schottky et la diode à jonction PN classique afin de mieux comprendre qu'est-ce qu'une diode Schottky ? Comment elle fonctionne ? Quelles applications nécessitent ainsi qu'elles sont ses avantages vis-à-vis sa fréquence d'utilisation ?

Chapitre III :

Résultats Simulés et Discussions

I. Introduction

Dans ce chapitre, on va présenter les principaux résultats simulés de la caractéristique I-V de notre structure d'étude. Ainsi que l'effet de la température, du facteur d'idéalité, du travail de sortie du métal et de l'affinité électronique du semi-conducteur ont été simulés.

II. Les caractéristiques courant-tension d'une diode Schottky

II.1 Caractéristique I-V de la diode Schottky idéale

Les résultats simulés de la caractéristiques I-V de la diode Schottky (contact Al/GaAs) en polarisation directe et inverse, et à la température ambiante sont illustrés dans la Figure III.1.

En utilisant le modèle de l'injection thermoïonique, la densité de courant traversant cette diode n'est pas linéaire et vérifie la relation suivante :

$$J = J_s \left(\exp \left(\frac{qV_d}{nK_B T} \right) - 1 \right) \quad (\text{III.1})$$

Avec :

V_d : Tension appliquée (V)

k_B : Constante de Boltzmann ($1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K)

T : Température (K)

q : Charge de l'électron (C)

J_s : Densité de courant de saturation (A)

η : Facteur d'idéalité (cas idéal, $\eta=1$)

Pour $V_d \gg 3kT/q$, la relation (III.1) devienne : $J = J_s e^{\frac{qV_d}{nkT}}$

On obtient alors la caractéristique électrique suivante :

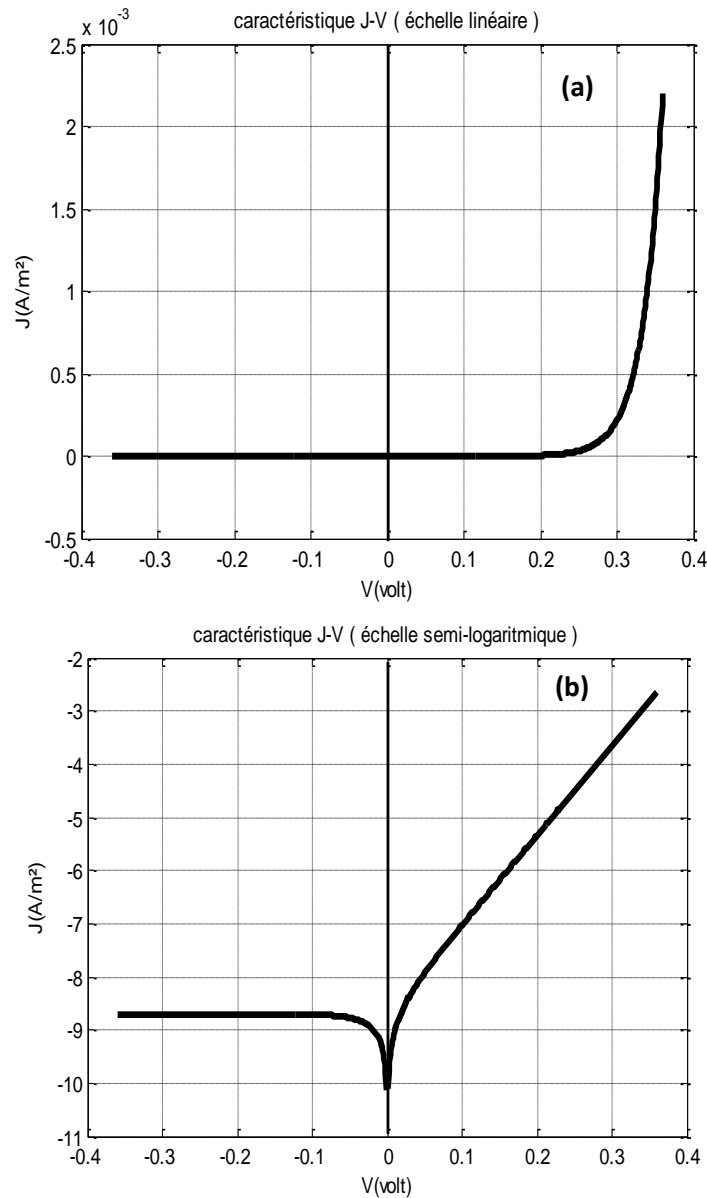


Figure III.1: Caractéristique courant-tension du contact métal/semi-conducteur
(a) échelle linéaire, (b) échelle semi-logarithmique

Le courant dans les structure Schottky est essentiellement dû aux porteurs majoritaires, il est alors transporté par les électrons dans le cas d'une structure de type N et par les trous dans le cas d'une structure de type P.

En polarisation directe, la densité de courant augmente exponentiellement avec la tension appliquée à l'échelle linéaire comme le montre la figure III.1.a. À l'échelle semi-logarithmique, cette caractéristique a une allure linéaire (figure.III.1.b).Ceci est expliquée par le fait qu'aucune

couche vide de porteurs n'existe à l'interface et quand l'on polarise cette structure, la tension appliquée n'est pas localisée dans la zone de charge d'espace, mais distribuée dans tout le semi-conducteur. À l'interface, l'arrivée, ou le départ, d'un trou dans le semi-conducteur est immédiatement compensé par l'arrivée, ou le départ, d'un électron dans le métal. Il en résulte que le courant circule librement dans les deux sens au niveau du contact. Donc le contact est résistif [22].

Par ailleurs, la densité du courant se sature en polarisation inverse comme le montre la figure.III.1.b.

Cependant, la chute de tension (tension de seuil), qui est aux alentours de 0.3V, est beaucoup plus faible pour une diode Schottky que pour la plupart des autres types de diodes. En effet, on a vu au chapitre II que cette propriété donne à la diode Schottky une qualité particulièrement importante : un temps de commutation très rapide.

Pour étudier les caractéristiques $J-V$ on va considérer les effets suivants :

- L'effet de la température
- L'effet de changement du facteur d'idéalité
- L'effet de changement de travail de sortie du métal
- L'effet de changement de l'affinité électronique du semi-conducteur

II.2.Influence de la température

La température est un paramètre important dans la détermination du fonctionnement des dispositifs à semi-conducteur. Dans le cas de la barrière Schottky, le courant de saturation est essentiellement dû aux porteurs minoritaires générés par agitation thermique.

Son expression est donnée par :

$$J_s = A^*T^2 e^{\frac{-q\phi_b}{kT}},$$

Etant donné que la densité de courant de saturation et la tension thermique ($V_T = \frac{kT}{q}$) sont tous les deux fonctions de la température. Ce courant de saturation sera donc particulièrement sensible à la température.

L'influence de la température sur les caractéristiques courant-tension de la diode Schottky est montrée par les résultats simulés faites sur ces jonctions.

Les caractéristiques I-V, pour différentes valeurs de températures, sont présentées par les figures suivantes :

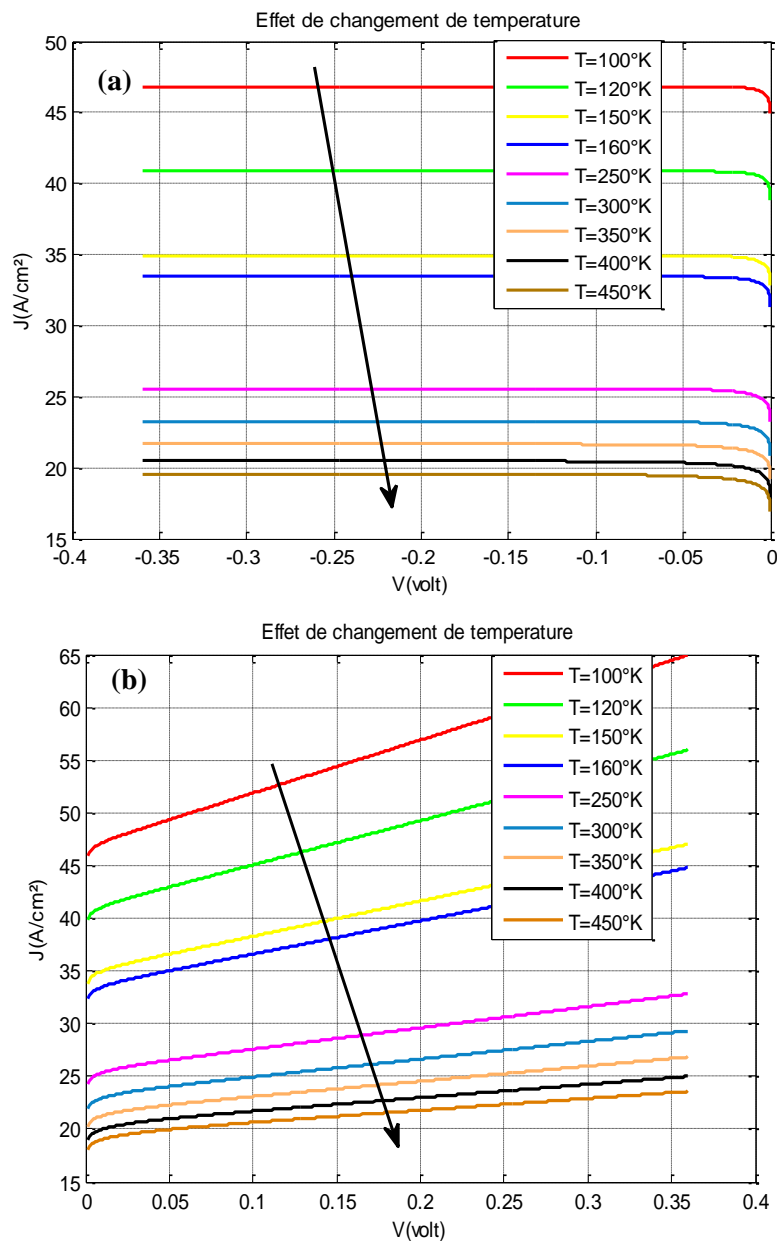


Figure III.2 : Caractéristiques I-V du contact Schottky pour différentes valeurs de T (échelle semi-logarithmique)

(a) Polarisation inverse, (b) polarisation directe

D'après la figure III.2.b, on observe que les caractéristiques I-V en fonction de la température ont une variation linéaire dans l'intervalle $0 < V < 0.4$ V.

On remarque que l'allure des I-V diminue avec la température.

Ces variations des caractéristiques I - V des diodes Schottky rendent compte des mécanismes de passage de courant à travers ces jonctions.

II.3 Influence du facteur d'idéalité (η)

Le mécanisme de transport électronique dans la diode Schottky s'exprime à travers son facteur d'idéalité η . Si η est proche de 1 (cas idéal), le courant de diffusion domine le mécanisme de transport, ce qui est le cas pour la structure à une température ambiante.

L'allure de la densité du courant en fonction du facteur d'idéalité est représentée dans la figure (III.3).

La figure III.4.a et la figure III.4.b présentent les caractéristiques simulées et expérimentales J - V en polarisation directe et inverse avec un facteur d'idéalité $\eta = 1.88$, respectivement.

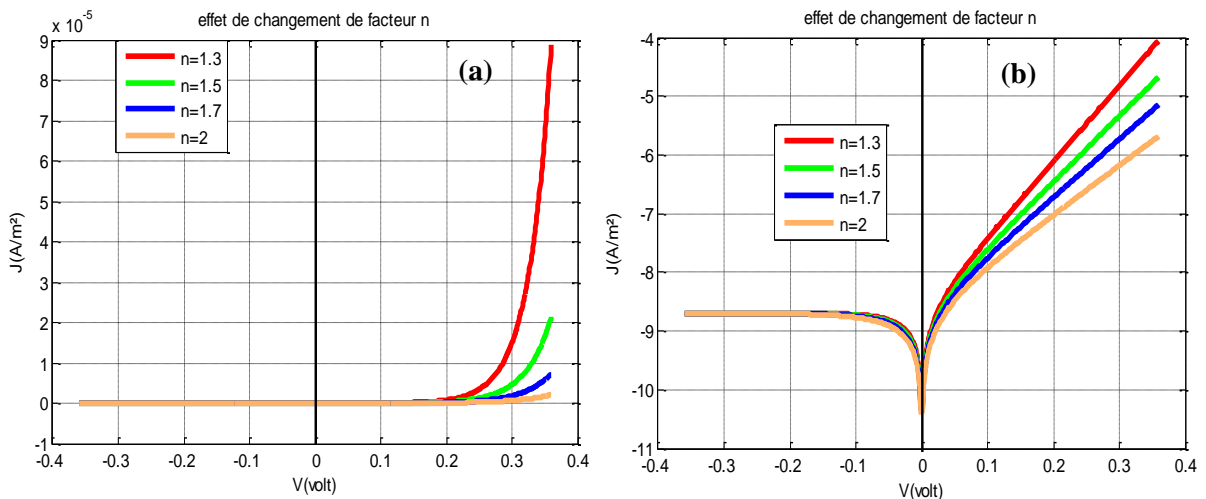
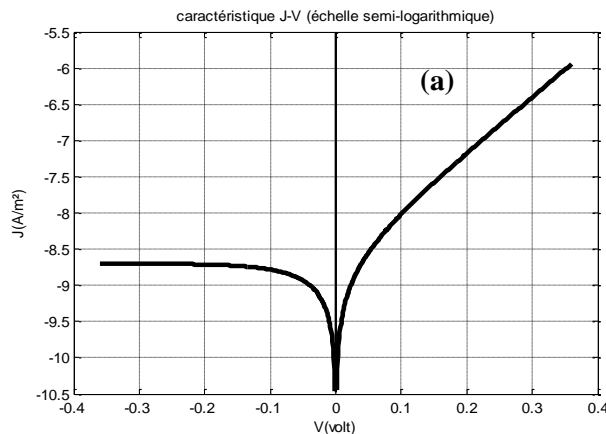


Figure III.3 : Caractéristiques I - V du contact Schottky pour différentes valeurs de η
(a) échelle linéaire, (b) échelle semi-logarithmique



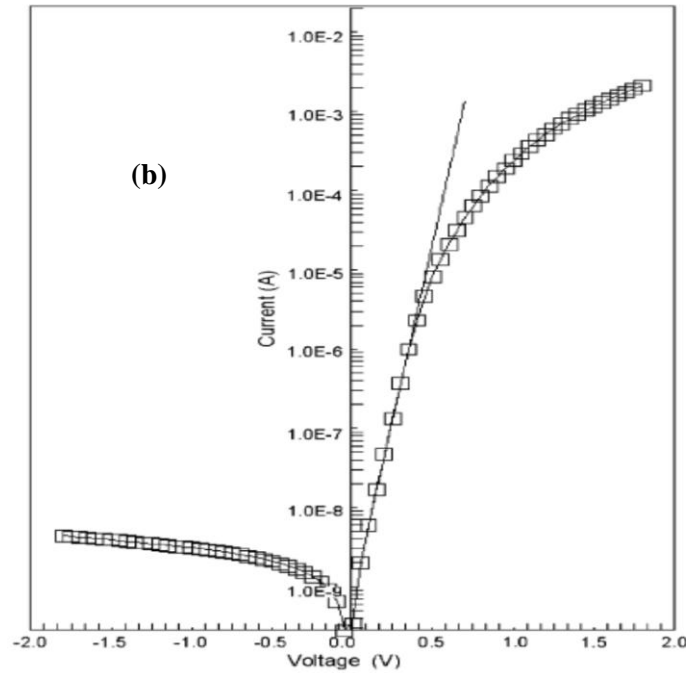


Figure III.4 : Caractéristique I-V du contact Schottky avec $\eta = 1.88$

(a) résultat simulé, (b) résultat expérimental

Pour une structure Schottky idéal, $\eta = 1$, mais en réalité η est toujours supérieur à 1.

Cette déviation du cas idéal est due en fait à [1] et [22] :

- l'effet de la présence d'une couche inter-faciale d'isolant ;
- l'effet des états de surface ;
- l'effet de passage des porteurs par effet tunnel ;
- recombinaison dans la région neutre.

Nos résultats simulés s'approchent des résultats expérimentaux comme le montre les figures III.4.a et III.4.b.

II.4 Influence de changement du travail de sortie du métal

La configuration d'un contact Schottky, son exécution et sa fiabilité est rigoureusement déterminée par la qualité d'interface entre le métal déposé et la surface du semi-conducteur.

Une variation de la caractéristique courant-tension avec le travail de sortie du métal est représentée dans la figure (III.5).

On peut observer que les courbes représentant les variations de $J-V$ avec les différentes valeurs de ϕ_m se répartissent en deux régions :

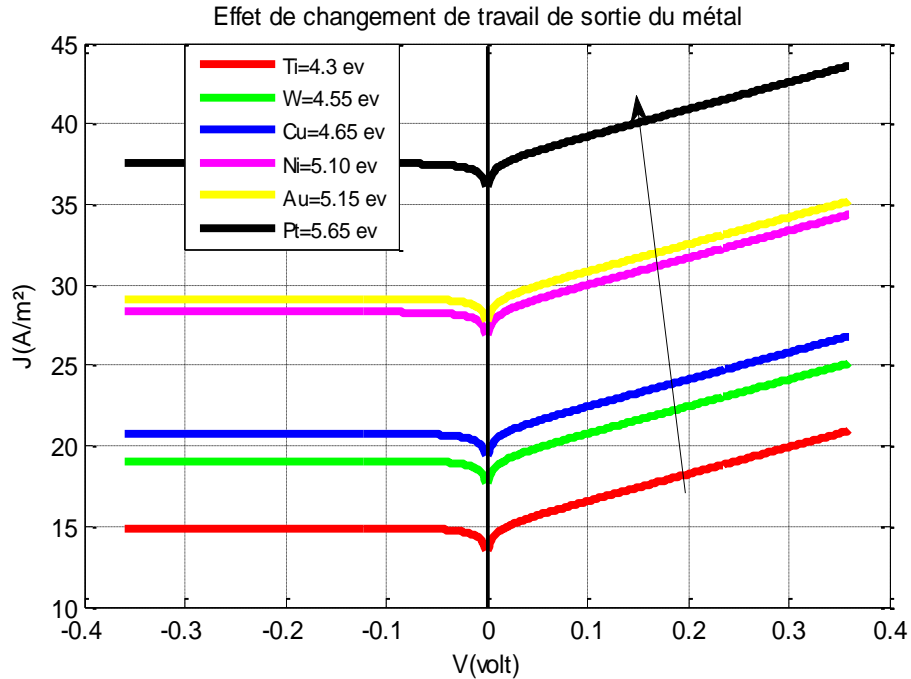


Figure III.5 : caractéristiques $J-V$ pour différents travaux de sortie du métal

On remarque que le contact est redresseur, sur toute la gamme du travail de sortie du métal (4.3 - 5.65 eV), pour les basses tensions de polarisation positives. Et pour les tensions de polarisation inverse, le courant change d'allure et devient ohmique, comme le montre la figure III.5.

On constate aussi que pour les petites valeurs de ϕ_m , le courant est faible car dans cette intervalle, la surface du semi-conducteur est en régime d'inversion [22].

II.5 Influence de changement de l'affinité électronique du semi-conducteur

Pour observer l'effet de l'affinité électronique $q\chi$ du semi-conducteur sur le comportement électrique de la structure Schottky, nous avons tracé les caractéristiques $J-V$ en fonction des affinités dans la gamme de 3.44-4.9 eV. La figure III.6 représente la variation de cette caractéristique $J-V$ pour des différentes valeurs de l'affinité électronique des semi-conducteurs.

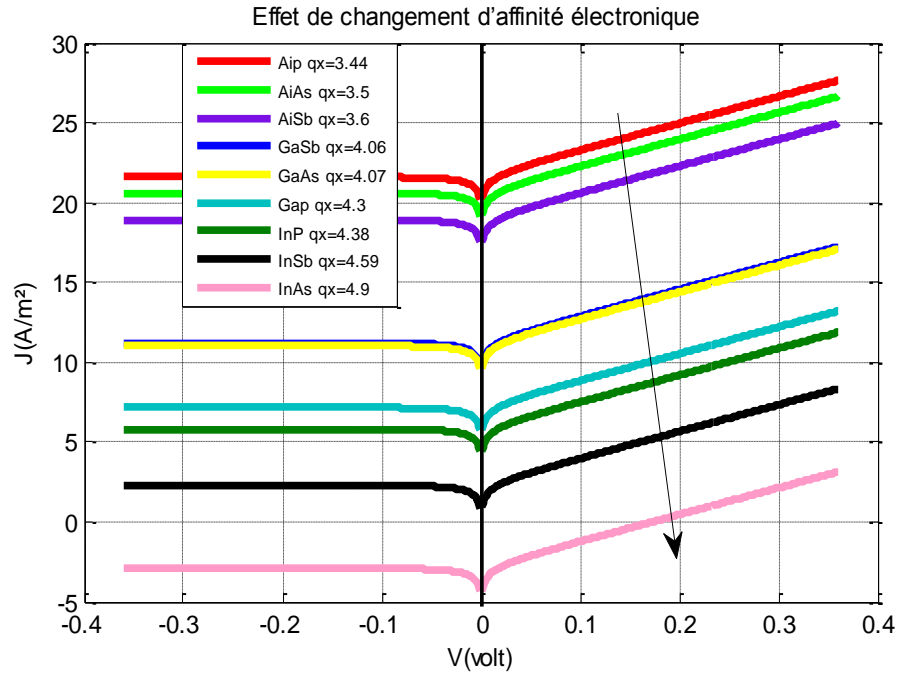


Figure III.6 : caractéristiques J - V pour différentes affinités électroniques du semi-conducteur, $\phi_m = 4.3 \text{ eV}$

Selon la figure III.6, on peut voir que le potentiel de diffusion de la diode Schottky augmente avec la diminution de l'affinité électronique du semi-conducteur.

La densité du courant à l'échelle semi logarithmique montre un contact ohmique pour les tensions négatives sur toute la gamme des affinités électroniques. Par contre, pour les tensions positives du potentiel, La densité du courant montre un contact redresseur.

Lorsqu'on polarise la structure, la tension de polarisation se localise au niveau de la zone de déplétion. Si la structure est polarisée par une tension V , supposée positive (dans le sens direct), la barrière de potentiel que doivent franchir les électrons est réduite. En polarisation inverse, la hauteur de la barrière de potentiel qui s'opposait à la diffusion des électrons augmente.

III. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les caractéristiques courant-tension simulés des diodes à jonctions métal/semi-conducteur (Al/GaAs) et traduisant les mécanismes de passage de courant à travers ces jonctions.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Aujourd'hui, nous vivons l'ère de la rapidité des applications technologiques dans différents domaines. Cette rapidité de développement est liée à l'efficacité et à la performance des composants élaborés. La diode Schottky formée par le contact métal/semi-conducteur est la plus adaptée aux applications des hautes fréquences.

Ce modeste travail avait pour but l'étude du comportement électrique des contacts métal-semi-conducteur et spécialement les structures Al/GaAs. Dans ce travail, nous avons présenté en premier lieu les propriétés électriques de l'arséniure de gallium (GaAs) qui est le composant de base notre structure.

Après un exposé général sur la théorie du contact métal/semi-conducteur, les différents mécanismes de transport de courant à travers l'interface de la structure considérée, ont été discutés.

On a présenté également, une petite comparaison entre la barrière Schottky et la diode à jonction PN classique afin de mieux comprendre qu'est-ce qu'une diode Schottky ? Comment elle fonctionne ? Qu'elles applications nécessitent ainsi qu'elles sont ses avantages vis-à-vis sa fréquence d'utilisation ?

Ensuite, nous avons illustré les caractéristiques courant-tension ($I-V$) simulés des diodes à jonctions métal/semi-conducteur (diode Schottky) et traduisant les mécanismes de passage de courant à travers ces jonctions.

Pour un contact Schottky idéal, on a vu comment le potentiel et les concentrations des porteurs pour différents types de polarisation varient ? En polarisation directe, la courbure des bandes diminue et la hauteur de la barrière de potentiel que doivent franchir les porteurs est réduite, tandis qu'en polarisation inverse la hauteur de la barrière de potentiel a été augmentée.

On a vu encore que l'allure de la densité de courant a une forme linéaire à l'échelle semi-logarithmique en polarisation directe et elle se sature en polarisation inverse.

La caractéristique densité de courant-tension ($I-V$) est étudiée en fonction des paramètres suivants : la température, le facteur d'idéalité, le travail de sortie du métal et l'affinité électronique du semi-conducteur.

Les variations des caractéristiques I - V des diodes Schottky en fonction de différentes valeurs de température rendent compte des mécanismes de passage de courant à travers les jonctions métal/semi-conducteur.

Ainsi que les variations des caractéristiques pour différents valeurs de facteurs d'idéalité sont dues aux : effets de la présence d'une couche inter-faciale d'isolant, effets des états de surface, effets de passage des porteurs par effet tunnel ainsi qu'aux effets de recombinaison dans la région neutre.

D'un autre côté, sur toute la gamme du travail de sortie du métal, le contact est redresseur pour les tensions de polarisation positives. Et pour les tensions de polarisation inverse, le courant change d'allure et devient ohmique. Aussi pour les petites valeurs de φ_m , le courant est faible car dans cette intervalle, la surface du semi-conducteur est en régime d'inversion.

Concernant l'étude de l'effet de l'affinité électronique, le potentiel de diffusion de la diode Schottky augmente avec la diminution de l'affinité électronique du semi-conducteur. La densité du courant à l'échelle semi logarithmique montre un contact ohmique pour les tensions négatives sur toute la gamme des affinités électroniques. Par contre, pour les tensions positives du potentiel, La densité du courant montre un contact redresseur.

Bibliographies

Bibliographies

- [1] Herissi Naima, “Extraction des paramètres des structures Métal/ Semi-conducteurs (Ti/Pt/Au-GaAs) à partir des caractéristiques courants- tensions (I-V), ” Tébessa 2012.
- [2] B. NAOUEL, “L’effet de la température dans la technique Cathodoluminescence par la méthode Monte Carlo, ” CONSTANTINE.
- [3] W. ALIOUAT, “ étude des propriétés des transistors à effet de champ a grille Schottky a L’arséniure de gallium, ” Constantine., 2006
- [4] Yazid BEDDIAFI, “ isation d’un transistor MESFET en GaAs en utilisant le simulateur atlas silvaco, Soutenu publiquement le 03 juillet 2013,
- [5] A. E. Bazin, “Conception de diodes Schottky sur 3C-SIC épitaxie sur silicium,” François- Rabelais de Tours, 2009.
- [6] L. SEVELY, “ Contribution à l’étude et à la réalisation de contacts sur GaAs par re Electronique pulse ”. 1985
- [7] B. Lakehal, “Etude des propriétés électriques d’une photopile à basa d’une structure Schottky. ” Batna.2009.
- [8] CEDRIC KOENIGUER, “ physiques des dispositifs électroniques. ” Octobre 2006
- [9] http://easytp.cnam.fr/algani/images/ELE101_CNAM_5_2008.pdf (consulté le 12.02.2014).
- [10] J. Bardeen, “Surface states and rectification at a métal Semi-conducteur contact, ” *Phys. Rev*, vol. 71, pp. 11, 1947
- [11] Henry Mathieu Hervé Fanet, Physique des semi-conducteurs et des composants électroniques
- [12] TOUMI sihem, etudes des composants electroniques (cellules solaires, diodes schottky) en utilisant les algorithmes genetiques et le langage vhdl ams soutenue le : 04 /07 / 2012
- [13] BOUROUBA Farid « MODELISATION ET SIMULATION DES CONTACTS METAL semi-conducteur A BARRIER INHOMOGENE, 2010
- [14] S. M. Sze and K. K. Ng., Physics of semiconductor devices, Wiley -Interscience, 2007.
- [15] W. Schottky, Halbleiter theorie der sperrsicht, 1938.
- [16] Francis Lévy, Traité des Matériaux N 18, « Physique et Technologie des Semi-conducteurs » Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 1995.
- [17] H. Mathieu, Physiques des semi-conducteurs et composants électroniques, 2001.
- [18] Neamen, Donald A” Semiconductor physics and devices: basic principles “Third Edition

- [19] Site web/ www.univ-lemans.fr
- [20] S. M. Sze « Physics of Semiconductor Device », (2nd edition) Wiley Inter-Science, 1981.
- [21] I. Sari-Ali, B. Ben Youcef, B. Chikh-Bled * ETUDE DE LA JONCTION PN D'UN SEMI- CONDUCTEUR,2007
- [22] BENAZIEZ NEDJEDIA * Etude des propriétés électriques en régime statique d'une structure Schottky* Batna 2010

Résume

L'objectif de ce présent travail est la caractérisation d'une structure Schottky du contact métal/semi-conducteur. Le métal et le semi-conducteur considérés dans notre étude sont l'Aluminium (Al) et l'arséniure de gallium (GaAs), respectivement.

Le simulateur MATLAB nous a permis d'étudier les propriétés électriques courant-tension (I-V) d'une diode Schottky, les caractéristiques $I-V$ sont présentées et l'effet de quelques paramètres, tels que le facteur d'idéalité, la température, le travail de sortie du métal ainsi que l'affinité électronique du semi-conducteur, a été étudié.

Abstract

The objective of this work is the characterization of a Schottky structure of the metal/semiconductor contact. The metal and semiconductor considered in our study are Aluminium (Al) and Gallium Arsenide (GaAs), respectively.

The MATLAB simulator allowed us to study the current-voltage (IV) electrical properties of a Schottky diode, the I-V characteristics are presented and the effect of some parameters, such as the ideality factor, the temperature, the work of exit of the metal as well as the electronic affinity of the semiconductor, was studied.

ملخص

الهدف من هذا العمل هو وصف هيكل شوتكي المكون من (معدن \ نصف ناقل) وهما على التوالي (الالمنيوم \مركب الزرنيخ) (GaAs/Al).

أداة المحاكاة MATLAB سمحت لنا بدراسة الخصائص الكهربائية الحالية للجهد الكهربائي (IV) لثنائي شوتكي وتم عرض خصائص I-V وتأثير بعض العوامل مثل عامل المثالية، درجة الحرارة، عمل الخروج من المعدن وكذلك الانجذاب الإلكتروني لنصف ناقل.