

Analyse des caractéristiques I-V des jonctions PN à base de SiC

Samia Rachedi, Keireddine Ghaffour

► **To cite this version:**

Samia Rachedi, Keireddine Ghaffour. Analyse des caractéristiques I-V des jonctions PN à base de SiC. MajecSTIC 2005: Manifestation des Jeunes Chercheurs francophones dans les domaines des STIC, IRISA – IETR – LTSI, Nov 2005, Rennes, pp.122-126. inria-00000690

HAL Id: inria-00000690

<https://hal.inria.fr/inria-00000690>

Submitted on 14 Nov 2005

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ANALYSE DES CARACTERISQUES I-V DES JONCTIONS PN à base de SiC

S.Rachedi, K. Ghaffour

Unité de Recherches Matériaux et Energies Renouvelables

Département de Physique

Université Abou-Bekr Belkaïd

BP 119 Tlemcen.13000 - Algérie

: samiarachedi @yahoo.fr

Résumé : 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. Les semi-conducteurs à large gap sont les plus adaptés aux applications de puissance et de haute température.

C'est le cas du carbure de Silicium SiC qui possède plusieurs caractéristiques physiques très supérieures à celles du Silicium[5], caractéristiques qui lui ouvrent des champs d'applications inaccessibles à ce dernier. Le développement des technologies SiC est aujourd'hui limité par un certain nombre de verrous technologiques difficiles à dépasser ou à contourner.

Dans cet article, on a présenté une méthode analytique pour étudier le comportement électrique I-V d'une diode à base de carbure de Silicium (SiC). L'examen de ses caractéristiques électriques I-V permet d'extraire les principales paramètres qui la caractérise, notamment, le courant de saturation, la résistance série et le coefficient d'idéalité. L'analyse du comportement thermique de la diode à basses et hautes températures a été présentée. Ce qui permet en effet, de déduire l'énergie d'activation des impuretés ionisées dopantes dans la diode SiC.

Mots clés : SiC, caractéristiques I-V, facteur d'idéalité, énergie d'activation.

1 INTRODUCTION

Les caractérisations sont rarement effectuées sur le dispositif fabriqué lui-même à l'exception des contrôles finaux de qualité mais le plus souvent sur les tranches témoins ou sur des dispositifs de test[6]. La caractéristique I-V de la structure d'étude qui permet de déterminer les valeurs de la résistance série et du courant de fuite, ainsi que la nature du courant mis en jeu dans la zone de charge d'espace [2].

2 CARACTERISTIQUES DU SiC

Les caractéristiques du SiC sont les suivantes :

- Large bande interdite.
- Bonne conductivité et stabilité thermique.

- Mobilité des porteurs importantes.

- Bonne résistance mécanique.

- Bonne résistance aux rayonnements.

Le SiC peut résister à des champs électriques importants or le taux de dopage maximum, pour une tension de claquage donnée, est proportionnel au carré du champ de claquage donc les dopages vont pouvoir être multipliés par 100 par rapport au Si classique et les MOSFET (R canal faible) pourront conduire de forts courants avec une faible perte de puissance car R canal est inversement proportionnel au cube du champ électrique de claquage. De plus, grâce à sa large bande interdite, le SiC peut travailler à de hautes températures (>600°C) alors que les composants en Si sont limités à 150°C.

Ainsi, ce matériau, grâce à ses propriétés, peut donc travailler efficacement au sein d'environnements hostiles.

Remarque : Pour les composants en SiC, une température minimum est requise pour optimiser les performances si un faible courant de fuite est demandé.

2.1 La cristallographie du matériau

Le SiC n'existe pas sous la forme d'un cristal simple mais sous la forme d'une famille de cristaux. Ces cristaux ne diffèrent pas dans le nombre d'atomes de Si et de C mais dans l'arrangement des couches atomiques. Par exemple, le 6H-SiC signifie que ce cristal est sous la forme hexagonale avec 6 couches Si-C avant que la maille élémentaire se répète. Il existe plus de 200 cristaux différents de SiC. De plus, les propriétés physiques du cristal dépendent de sa structure cristallographique.

Les deux formes cristallographiques les plus communes sont les suivantes :

- Cubique.
- Hexagonal.

2.2 Fabrication de dispositifs

Jusqu'à présent, le SiC était utilisé uniquement pour la fabrication de LED car sa large bande interdite lui permet d'émettre dans le bleu.

a. Les diodes Schottky

Des diodes de types Schottky et pn ont été développées. Les tensions de claquage les plus

importantes actuellement sont de 4.5 kV pour les diodes PN et de 1kV pour les diodes Schottky.

Les caractéristiques des diodes Schottky sur SiC sont les suivantes :

- Métaux utilisés : Ti, Ni, Au, Pt, Pd
- Tension de seuil : 1 V à 1.5 V
- Courants de fuite : 10-10 A à 10-6 A
- Température maximale d'utilisation : 700 °C
- Tension de claquage : > 1400 V
- Densité de courant (jonction polarisée en directe) : jusqu'à 800 A/cm2

Les caractéristiques des diodes PN sur SiC sont les suivantes :

- Tension de seuil : 2.5 V à 2.6 V pour 6H-SiC et 2.8 V pour le 4H-SiC
- Courants de fuite : 10-10 A à 10-4 A
- Température maximale d'utilisation : 400 °C
- Tension de claquage : qq kV

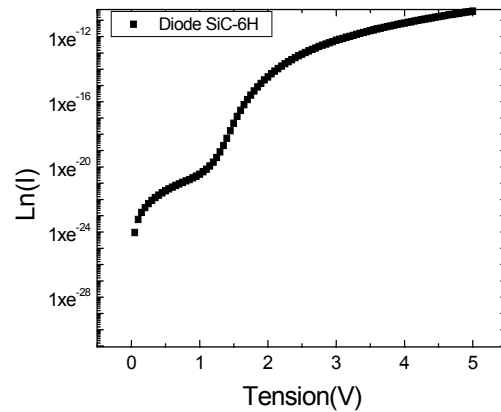
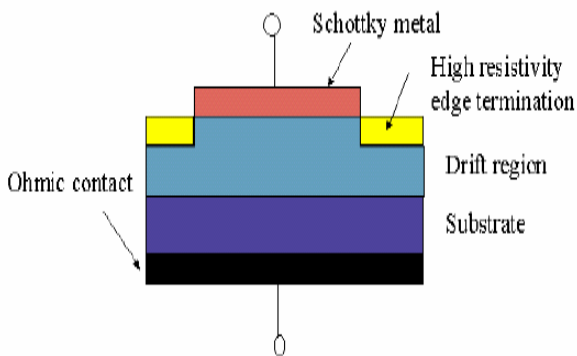


Fig 1 : Caractéristiques courant-tension des jonctions pn à base de SiC

La différence entre les deux types de caractéristiques (Si et SiC) réside au niveau de la tension de seuil qui est plus élevée pour les diodes en SiC[7], voisine de 2,3 V. L'échelle logarithmique présente Trois régions, pour chaque région on calcule les paramètres n , I_s , R_s . Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau ci-dessus (Tab . 1):

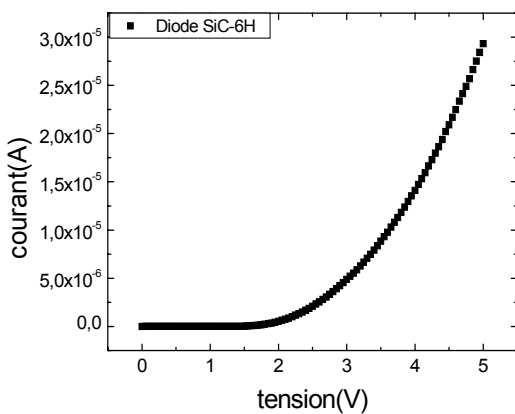
SiC Schottky Diode Design



High resistivity edge termination is achieved by implanting Ar (self-aligned to Schottky contact)

2.3 Caractéristique IV des jonctions PN à base de SiC

Pour les diodes à base de SiC, les caractéristiques I-V sont illustrées dans les figures suivantes [4] :



Paramètres des Diode en SiC	Valeurs des paramètres
n ($0 < V < 1$) ($1 < V < 2.5$) ($2.5 < V < 3.5$)	14,53 5,02 26,86
$I_s(A)$	$3,37 \times 10^{-10}$ $1,86 \times 10^{-13}$ $5,53 \times 10^{-8}$
$R_s(\Omega)$	1,73

Tab. 1 : Paramètres des jonctions PN à base de SiC

3 INFLUENCE DE LA TEMPERATURE

La température est un paramètre important dans la détermination du fonctionnement des dispositifs à semi-conducteur. Dans le cas de la jonction PN le courant de saturation est essentiellement dû aux porteurs minoritaires générés par agitation thermique. Ce courant de saturation sera donc particulièrement sensible à la température.

Son expression est donnée par :

$$I_s = kTm e^{-E_g/kT} \quad (1)$$

avec $m = 2$ pour le germanium.

$m = 1,5$ pour le silicium.

$m = 1,5$ pour l'arsenic de gallium.

L'influence de la température sur les caractéristiques courant-tension des jonctions PN à base de SiC est montrés par les résultats expérimentaux faites sur ces jonctions.

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

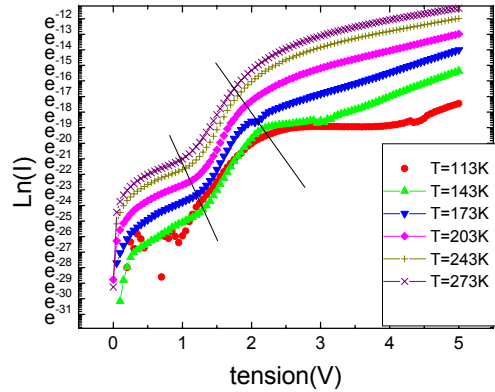
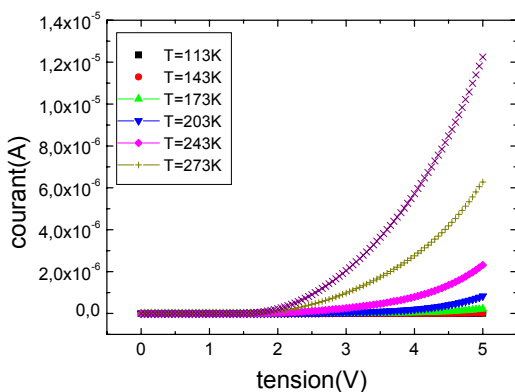
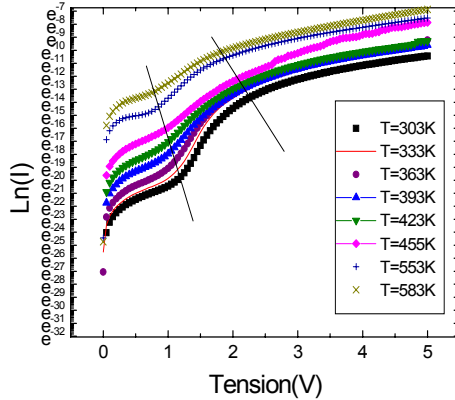
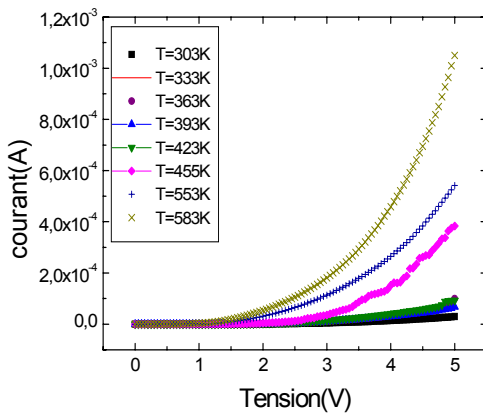


Fig 2 : caractéristiques courant tension des jonctions PN à base de SiC en fonction de T. a) hautes températures, b) basses températures.



On observe que les caractéristiques I-V en fonction de la température ont une variation linéaire dans l'intervalle $0 < V < 2V$. Par contre pour $V > 2V$ cette dernière à une variation exponentielle. Tel que pour les faibles températures l'allure des I-V reste très faible puis, elle augmente avec la température, et le courant de saturation augmente aussi avec la température. On conclut de la courbe $\ln(I(V))$ les paramètres suivants illustrés dans le tab. 2

Diodes à différents températures	n ($0 < V < 1$) ($1 < V < 2$) ($2.5 < V < 3.5$)	$I_s(A)$	$R_s(\Omega)$
113K	6,1 6,83 14,98	$1,44 \times 10^{-14}$ $2,47 \times 10^{-14}$ $1,86 \times 10^{-12}$	3,33
143 K	14,55 5,84 50,79	$8,44 \times 10^{-13}$ $3,7 \times 10^{-15}$ $9,16 \times 10^{-10}$	2,63
173 K	18,5 5,56 30,32	$5,47 \times 10^{-12}$ $8,83 \times 10^{-15}$ $9,3 \times 10^{-10}$	3,57
203 K	19,6 5,08 24,53	$1,87 \times 10^{-11}$ $1,05 \times 10^{-14}$ $1,9 \times 10^{-9}$	1,88
243 K	18,88 6,01 36,36	$4,89 \times 10^{-11}$ $2,5 \times 10^{-13}$ $3,67 \times 10^{-8}$	1,89
273 K	19,8 5,47 25,8	$1,005 \times 10^{-10}$ $2,18 \times 10^{-13}$ $1,95 \times 10^{-8}$	1,23
303 K	14,59 5,02 26,86	$3,37 \times 10^{-10}$ $1,86 \times 10^{-13}$ $5,53 \times 10^{-8}$	1,73
333K	13,88 4,56 25,97	$5,03 \times 10^{-9}$ $1,54 \times 10^{-13}$ $1,01 \times 10^{-7}$	2,37
363 K	14,78 15,24	$1,01 \times 10^{-19}$ $1,71 \times 10^{-12}$	1,68

	31,49	$2,45 \times 10^{-7}$	
393 K	17,24	$3,58 \times 10^{-9}$	2,26
	7,14	$5,62 \times 10^{-11}$	
	29,85	$1,83 \times 10^{-7}$	
423 K	18,34	$8,44 \times 10^{-9}$	1,8
	8,26	$3,2 \times 10^{-10}$	
	31,74	$3,28 \times 10^{-7}$	
453 K	18,06	$8,9 \times 10^{-9}$	2,99
	9,73	$1,9 \times 10^{-9}$	
	22,98	$1,93 \times 10^{-7}$	
555 K	28,66	$2,25 \times 10^{-7}$	0,89
	8,7	$1,16 \times 10^{-18}$	
	32,52	$2,9 \times 10^{-6}$	
583 K	0,22	$1,8 \times 10^{-11}$	1,53
	15,68	$3,77 \times 10^{-7}$	
	41,23	$9,44 \times 10^{-6}$	

Tab. 2 : Paramètres des jonctions PN à base de SiC en fonction de T, à hautes et basses températures .

Ces paramètres calculés à partir des caractéristiques I-V des diodes à jonctions PN rendent compte des mécanismes de passage de courant à travers ces jonctions.

A partir des caractéristiques courant-tension en polarisation directe en fonction de la température nous traçons la caractéristique $\ln(I) = f(V)$ et on observe trois régions.

Chaque région peut être modélisée par :

$$I = I_s \exp(A \times V) \quad (2)$$

le courant de saturation peut être modélisée par :

$$I_s = I_0 \exp\left(-\frac{E_a}{kT}\right) \quad (3)$$

Nous avons tracé la courbe $\ln(I_s)$ en fonction de $1000/T$ dans chaque régions présentée par ces figures suivantes :

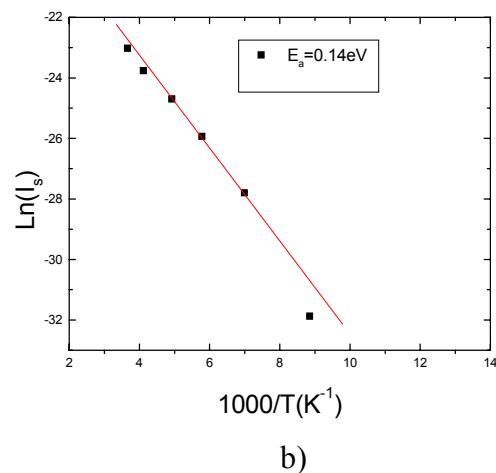
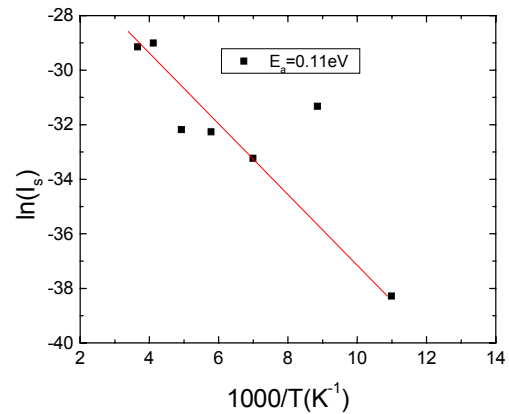
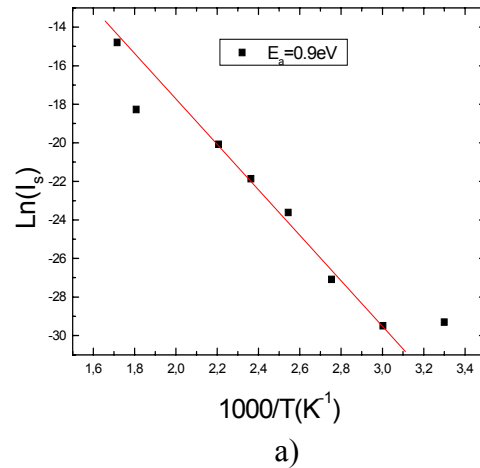
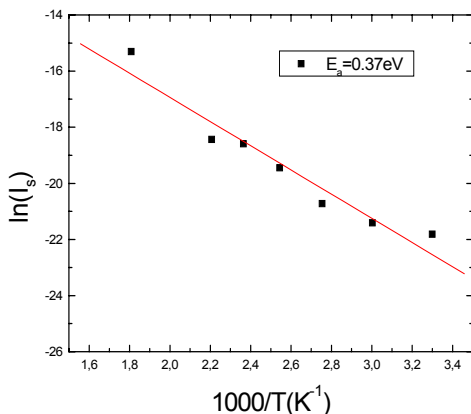


Fig 3 :Variation du courant de saturation I en fonction de la température. a) hautes températures, b) basses températures.

Dans la première zone, le courant varie linéairement avec la tension. Elle peut donc être modélisée par l'équation (2). Les énergies d'activation thermique du courant de saturation sont 0,37eV et 0,14eV, correspondant respectivement aux énergies d'activations du Bore et du Phosphore pour les hautes et basses températures. Cette valeur est inférieure à $E_g/2$, ce qui confirme la non dépendance du courant en n_i .

Dans la deuxième zone, le courant de saturation est activé par une énergie 0,9eV et 0,11eV, correspondant respectivement aux énergies d'activations de l'Azote et du phosphore pour les hautes et basses températures. Cette valeur est inférieure à $E_g/2$, ce qui confirme la non dépendance du courant en n_i [4].

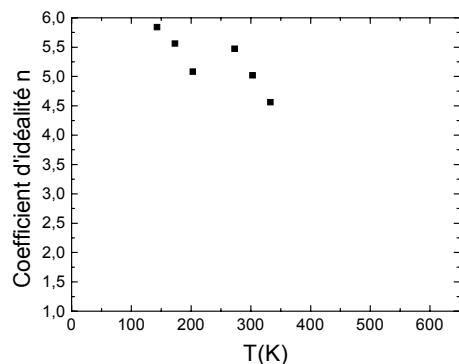


Fig 4 : Evolution du coefficient d'idéalité.

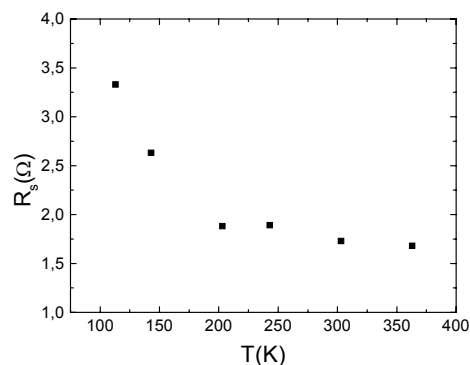


Fig 5 : Variation de la résistance série en fonction de la température.

La figure 5 représente la résistance série en fonction de la température. Elle augmente considérablement à mesure que la température diminue, ce qui est dû au gel des porteurs, en particulier au dessus de 200K.

4 CONCLUSION

Dans cet article, nous avons présenté les caractéristiques courant-tension expérimentales des diodes à jonctions PN en SiC et traduisant les mécanismes de passage de courant à travers ces jonctions. Ainsi que nous avons traité les caractéristiques courant-tension en fonction de la température dans le but de tracer le diagramme d'Arrhenius pour déterminer les énergies d'activations. Nous avons trouvé les facteurs d'idéalité différents de 1 et 2. Ceci est dû à la présence de défauts cristallins qui se trouvent dans les structures d'étude. Les facteurs d'idéalité théoriques et expérimentaux sont très différents, ceci est dû probablement aux défauts cristallins dans ces structures. Pour identifier ces défauts, il va falloir faire appel à d'autres méthodes de caractérisations (DLTS, DLOS, etc...)

BIBLIOGRAPHIE

- [S. M. Sze. 1981] « Physics of Semiconductor Devices » Wiley and John & Sons , 2 nd édition. 831 p.
- [H. Mathieu. 1984] « Physique des Semi-conducteurs et des Composants Electroniques » masson 4^{ieme} édition.
- [W Gerold.Neudeck] The PN junction diode. Modular series on solid state. Addison-Wesley publishing company.
- [K. E. Ghaffour. 1999] “ Caractérisations électriques de diodes bipolaires de puissance en SiC(6H) à structure MESA. Thèse de doctorat, Université de Tlemcen..
- [K.E.Ghaffour. 1998] et al « Electrical Characterization of Silicon Carbide n⁺pp⁺ Diodes with an N-implanted n⁺ Emitter » J. Appl. Phys., vol. 84, n°6, p. 3073-3077.
- [M.Lyakas, 1995] et al. Analysis of non ideal schottky and pn junction diodes / extraction of parameters from I-V plots. 5481-5489.
- [K. E. Ghaffour.] « Caractérisation du Spectre d'Energie du α.SiC (6H) de Type n par la méthode de l'Absorption Optique » Thèse de magister, Université de Tlemcen.