HAL
open science

Propriétés électriques des diodes Schottky en Polymères

Abdelhak Aziz, Khalil Kassmi, Rabah Maimouni, François Olivié, Gérard Sarrabayrouse, Augustin Martinez

To cite this version:

Abdelhak Aziz, Khalil Kassmi, Rabah Maimouni, François Olivié, Gérard Sarrabayrouse, et al.. Propriétés électriques des diodes Schottky en Polymères. MajecSTIC 2005 : Manifestation des Jeunes Chercheurs francophones dans les domaines des STIC, IRISA – IETR – LTSI, Nov 2005, Rennes, France. pp.116-122. inria-00000728

HAL Id: inria-00000728

https://inria.hal.science/inria-00000728v1

Submitted on 15 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.

Propriétés électriques des diodes Schottky en Polymères

A. Aziz[(1)(2)], K. Kassmi[(1)*], R. Maimouni[(1)], F. Olivié[(2)], G. Sarrabayrouse[(2)], A. Martinez[(2)]

[(1)] Université Mohamed Premier, Faculté des Sciences, dépt de Physique, LEAA , Oujda, Maroc.
[(2)] Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes (LAAS/CNRS), 7 avenue du Colonel Roche, 31 077, Toulouse, France.

[*] E. mail : khkassmi@yahoo.fr, kassmi@sciences.univ-oujda.ac.ma

Ce travail est supporté par :

- le Comité Franco-Marocain 'Action Intégrée : N° MA/03/78',
- le Programme Thématique d'Appui à la Recherche Scientifique (PROTARS III) 'D43/06'.

Résumé : Le travail présenté dans cette communication concerne la réalisation et la caractérisation électrique (courant-tension I/V) des diodes Schottky en polymère (P3OT) de type P. Les résultats obtenus montrent que les structures réalisées sont stables : après plusieurs passages I/V, les caractéristiques obtenues passent par la même courbe. Concernant le mécanisme de conduction de ces structures, nous avons montré qu'il peut être modélisé par celui des structures Schottky inorganique (Silicium) en régime direct : se manifeste le mécanisme de conduction par effet Thermoélectronique et Fowler-Nordheim.

L'ensemble des résultats obtenus montre d'une part la faisabilité du processus technologique de réalisation des diodes Schottky en polymère, et d'autre part une contribution intéressante permettant une meilleure compréhension du mécanisme de conduction des polymères.

Mots clés : Electronique organique, diode Schottky en polymère, propriétés de conduction, courant tunnel 'Fowler-Nordheim', courant thermoélectronique.

I- Introduction

Il y a une quarantaine d'années, l'industrie des semiconducteurs s'est développée autour de matériaux tels que le Si et le GaAS. Cependant, depuis quelques années, cette même industrie s'intéresse à d'autres matériaux organiques [[De Carvalho, 2003]-[Stallinga, 2002]] : ' les polymères'. En effet, à coté des isolants et des photorésines, il existe une catégorie des matériaux organiques moins connue : les polymères conducteurs. De nombreuses perpectives d'applications font de 'l'électronique organique' un champ de recherche majeur.

Bien que l'engouement du secteur économique dans le domaine de la micro-électronique envers ces nouveaux matériaux soit principalement économique, on peut les considérer comme des alternatives aux matériaux classiques pour d'autres raisons. L'avantage majeur est la facilité et le bas coût de fabrication. Actuellement, beaucoup d'applications sont à l'étude [[Bao, 1996] -[Musa, 1998]] : écrans couleurs flexibles enroulables sur une feuille de plastique, cellules photovoltaïques, diode Schottky, transistors à effet de champs, lasers, puces tout en plastiques,…

Dans ce travail, nous avons étudié la faisabilité des diodes Schottky en polymères. Plus particulièrement nous proposons une étude utilisant le Poly (3-octylthiiophène) régiorégulier (P3OT) dans des diodes réalisées [Leguerre, 2002]. Nous décrivons le processus technologique de réalisation de ces diodes, mis au point au LAAS/CNRS (Toulouse - France). Ensuite, nous analysons les résultats de la caractérisation électrique courant-tension (I/V) en se basant sur les modèles électriques des diodes Schottky inorganiques (modèles thermoélectronique et Fowler-Nordheim) [[Kassmi, 2005] -[Kassmi, 2003a]].

II- Procédure expérimentale

Sur un substrat de silicium fortement dopé, recouvert d'ITO (figure 1), est déposée à la tournette une couche de P3OT d'épaisseur 1.5 micron à partir d'une solution P3OT+ chloroforme (20g/l). Une couche de métal en Aluminum d'épaisseur 200 nm est déposée sur le P3OT par évaporation sous vide à travers un shadow mask. La surface active (S) de la structure Schottky organique réalisée est de 0.785 cm^2. Le contact ITO/polymère est ohmique. Dans [Leguerre, 2002]., nous avons vérifié que le polymère déposé est de type P et le dopage résultant est de l'ordre de 10^{16} cm^{-3}. Sur la figure 2 est représentée une structure Schottky montée sur embase.

Les mesures électriques sont effectuées à l'aide du banc de mesure courant-tension (I/V) au LAAS/CNRS (Toulouse - France) 'banc BIORAD 8000', ou celui en cours d'automatisation au Laboratoire LEAA (figure 3) (Oujda - Maroc).

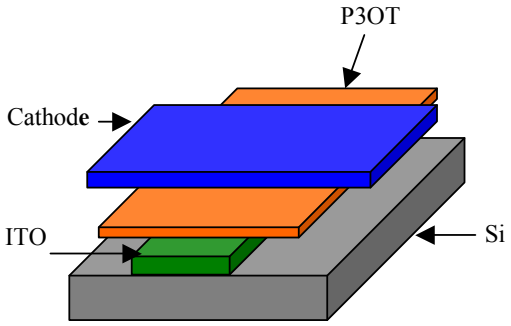

Figure 1 : Structure d'une diode Schottky en polymère.

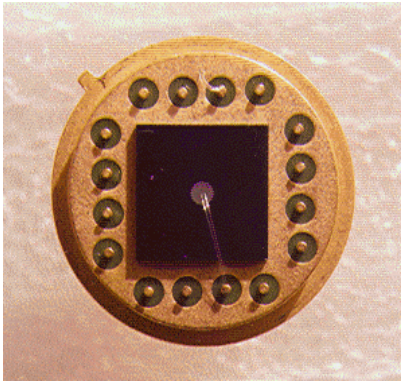

Figure 2 : Structure Schottky montée sur embase.

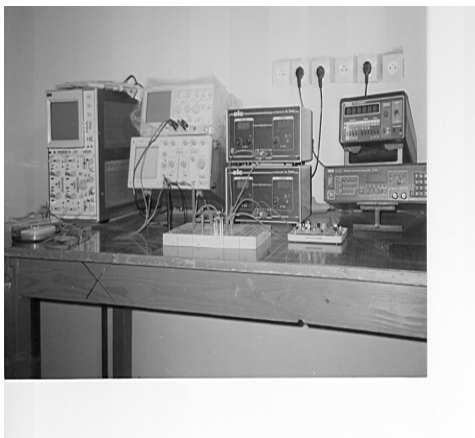

Figure 3 : Banc de mesures électriques monté au LEAA (Oujda-Maroc) .

III- Résultats et discussions

III-1- Caractéristiques courant-tension expérimentales

Sur la figure 4 nous avons représenté, à la température ambiante, plusieurs passages de la caractéristique I/V en direct (V<0) et en inverse (V>0). Nous pouvons déduire un comportement stable des structures Schottky réalisées : les caractéristiques obtenues passent par la même courbe. Actuellement, l'étude de la stabilité pose un problème majeur des propriétés électriques des structures Schottky en polymère. Dans [Kassmi, 2003c], nous avons observé ces instabilités en effectuant plusieurs passages I/V. Donc, le processus technologique mis au point dans ce travail nous a permis de remédier complètement à ce problème d'instabilité.

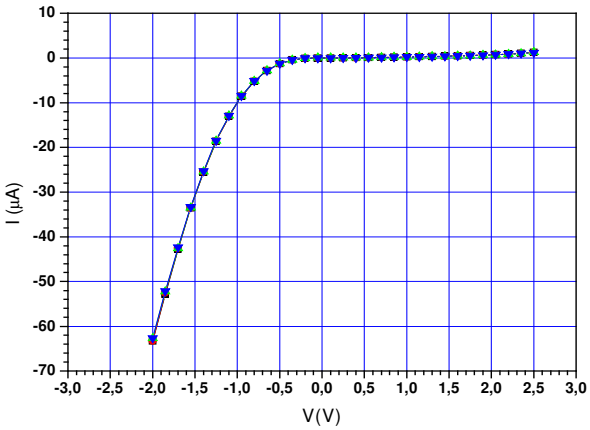

Figure 4 : Plusieurs passages, à la température ambiante, des caractéristiques couran-tension des diodes schottky en polymère.

Sur la figure 5, nous avons représenté les caractéristiques I/V typiques obtenues sur d'autres structures réalisées. Il apparaît un comportement dépendant du régime de polarisation. Dans la suite, nous modélisons d'une manière approfondie, à partir d'un programme mis au point [[Khlifi, 2004], [Kassmi, 2003a], [Kassmi, 2003b]] en se basant sur les modèles des structures inorganiques [Sze, 1981], le comportement de ces caractéristiques.

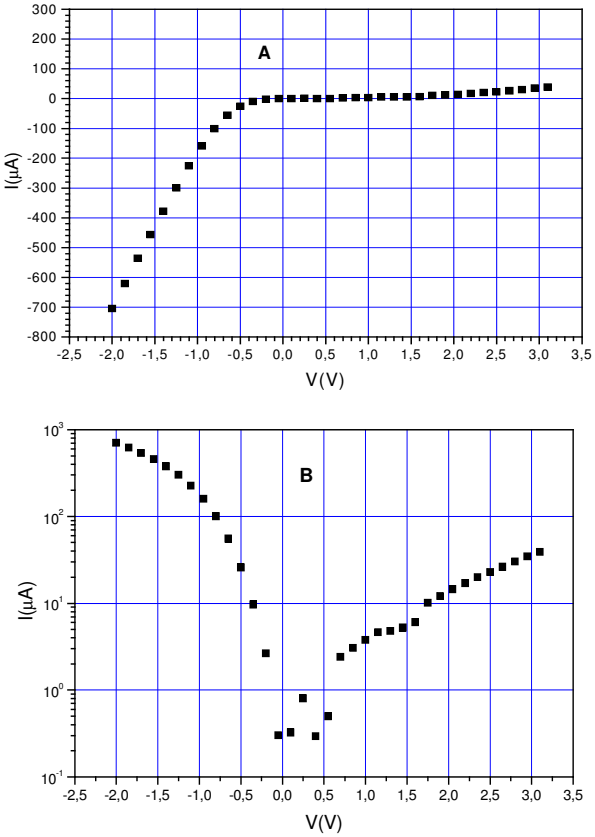

Figure 5 : Caractéristique courant-tension des diodes schottky en polymère:
A) Courant (I) en fonction de la tension (V),
B) Log(I) en fonction de la tension (V)

III-2- Modélisation des caractéristiques courant-tension en direct

Dans la littérature [[Leguerre, 2002], [Wolf, 1999] -[Barth, 1999]], on attribue le courant expérimental en polarisation direct à la conduction par effet Thermoélectronique et on modélise la partie linéaire (Log(I) en fonction de la tension) de la caractéristique I/V en se basant sur le modèle Thermoélectronique obtenu dans le cas des diodes Schottky inorganiques [Sze, 1981]. Dans notre cas, comme le montre la figure 5-B, le comportement linéaire n'apparaît qu'au début de la conduction en direct (-0.3 Volt<V<0 Volt). Par contre, dans une plage importante de tension (-2 Volt<V< -0.3 Volt) le courant n'est plus linéaire avec la tension.

III-2-1- Modélisation de la partie linéaire (-0.3 Volt< V< 0 Volt)

Nous avons modélisé la partie linéaire suivant le modèle de conduction par effet Thermoélectronique [Sze, 1981] :

$$J_{th} = -J_s \exp(-\frac{V}{\eta U_T} - 1) \qquad (1)$$

où ;

J_s : densité de courant de saturation. Elle dépend de la température.

U_T : tension thermodynamique. A la température ambiante elle est de l'ordre de 25 mV dans le cas des diodes inorganiques.

η : facteur d'idéalité. Dans le cas des diodes inorganiques, il varie de 1 à 2.

A partir du tracé de Log (I/S) en fonction de la tension (V), nous avons déduit un facteur d'idéalité variant de 3 à 5 et une densité de courant de saturation de l'ordre de $2.5\ 10^{-7}$ A/cm^2.

Sur la figure 6, nous avons représenté le tracé typique des caractéristiques I/V expérimentales et simulées suivant le modèle Thermoélectronique.

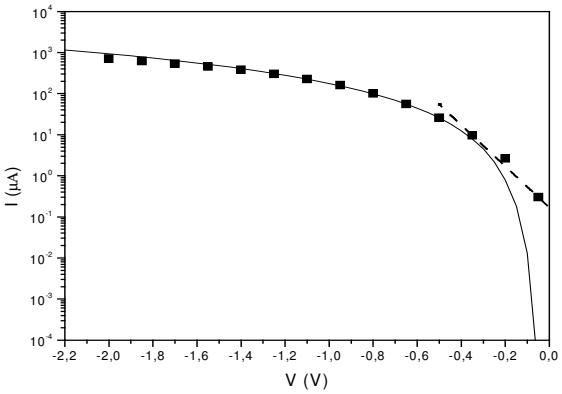

Figure 6 : Caractéristique I/V expérimentale (■) et simulées (—, - - -) .
(- - -) simulation suivant le modèle Thermoélectronique (-0.3 Volt < V < 0 Volt),
(——) simulation suivant le modèle Fowler-Nordheim (-2 Volt < V < -0.3 Volt).

III-2-2- Modélisation de la partie non linéaire (-2 Volt<V< -0.3 Volt)

La partie non linéaire des caractéristiques courant-tension (figure 5-B) obtenues, lorsque la tension appliquée varie de –0.3 Volt à –2Volt, ne peut être attribuée au mécanisme de conduction par effet Thermoélectronique. Nous avons modélisé cette partie suivant le modèle de conduction par effet Fowler-Nordheim (FN) [[Khlifi, 2004], [Aziz, 2004], [Lenzlinger, 1969]] :

$$J_{FN} = K_1 \cdot E^2 \exp\left(\frac{-K_2}{E}\right) \qquad (2)$$

où :

K_1 et K_2 : paramètres de conduction par effet Fowler-Nordheim,

E : champ créé dans la zone de charge d'espace dans le polymère à l'interface métal/polymère. Puisqu'on connaît pas la profondeur de cette zone, nous avons supposé que ce champ est fonction de la tension appliquée (V) et de l'épaisseur de la couche des polymères (D_{poly}) :

$$E = \frac{V}{D_{poly}} \qquad (3)$$

Le tracé typique des caractéristiques dans le plan FN ($\mathrm{Log}\left(\frac{I}{S \cdot E^2}\right)$ en fonction du module de $\frac{1}{E}$) donne un comportement linéaire (figure 7) suivi d'une saturation de courant pour les fortes tensions ($1/E < 10^{-5}$ cm/V). Cette saturation peut être attribuée, comme dans le cas des diodes MOS inorganiques [Khlifi, 2004], à la limitation du courant par le volume du polymère.

A partir du tracé de la figure 7, nous avons déduit : $K_1 = 10^{-12}$ A/V^2 et $K_2 = 10^4$ V/cm. En tenant compte de ces valeurs, nous avons représenté sur la figure 6 le tracé typique des caractéristiques I/V expérimentales et simulées suivant le modèle de FN (équation 2). Il apparaît un très bon accord entre l'expérience et la théorie.

Il est à noter que pour les tensions variant de –0.3 Volt à 0 Volt, le courant expérimental est important à celui simulé suivant le modèle de FN. Donc, la caractéristique I/V expérimentale peut être modélisée par le modèle Thermoélectronique pour les faibles tensions et FN pour les fortes tensions.

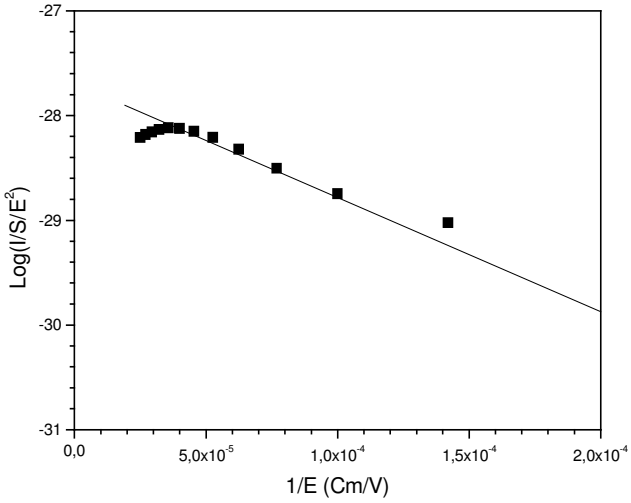

Figure 7 : Caractéristique I/V dans le plan FN.
(■) expérience,
(——) modèle FN.

III-3- Modélisation des caractéristiques courant-tension en inverse

En polarisation inverse (figure 8), le tracé de Log(I/S) en fonction de la tension V des caractéristiques I/V expérimentales montre un comportement linéaire sur une plage de tension variant de 0.8 à 3 V. Les valeurs des densités de courant en inverse expérimentales sont très importantes comparées à celles obtenues par le modèle de conduction thermoélectronique en inverse (densité de courant de saturation : J_s) (relation 1). La différence entre les deux valeurs, expérimentales et théoriques, peut atteindre un facteur de l'ordre de 10^3. Donc, Les caractéristiques I/V expérimentales en inverse ne peuvent être modélisées par le modèle thermoélectronique classique en inverse :

$$J = -J_S \qquad (4)$$

Le comportement des caractéristiques I/V en inverse nécessite donc une analyse approfondie. Pour ce faire des études sont en cours.

L'ensemble des résultats, forts intéressants, montre d'une part la faisabilité des diodes Schottky en polymères et d'autre part une meilleure compréhension du mécanisme de conduction de ces diodes Schottky en polymère. Ce travail est donc poursuivi en s'intéressant plus particulièrement à l'analyse du courant en inverse et à l'influence de la température sur le courant en direct et en inverse. En se basant sur les résultats obtenus, nous proposerons le mécanisme physique de conduction des diodes Schottky en polymère ainsi qu'à leurs diagrammes de bandes d'énergie.

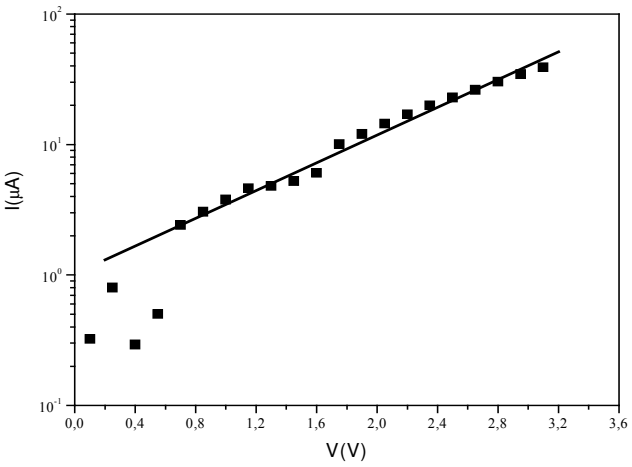

Figure 8 : Caractéristique I/V expérimentale en inverse (■).
(—) linéarisation de la caractéristique I/V.

Conclusion

Dans ce travail concernant la modélisation des caractéristiques courant-tension des diodes Schottky réalisées en polymère nous avons montré :

- les propriétés électriques des structures réalisées sont stables. Après plusieurs passages courant-tension, les caractéristiques obtenues passent par la même courbe.
- en régime direct se manifeste un courant de type Thermoélectronique pour les faibles tensions (-0.3Volt<V<0 Volt) et un courant de type Fowler-Nordheim pour les fortes tensions (V<-0.3 Volt).
- en régime inverse, le courant expérimental est très important à celui théorique de type Thermoélectronique (courant de saturation).

Ce travail est poursuivi en s'intéressant à l'analyse approfondie du mécanisme de conduction des diodes réalisées en polymère ainsi qu'à leurs diagrammes de bandes d'énergie. Ceci nous permettra d'une part de proposer un modèle électrique complet de conduction des polymères et d'autre part d'améliorer le processus technologique de réalisation de la nouvelle génération de composants électroniques en polymères (Diodes, transistors, cellules Photovoltaïques,...).

Bibliographie

[De Carvalho, 2003] L.C. De Carvalho, C.N. Santos, H.W.L. Alves and J.L.A Alves, Microelectronics Journal 34, 623-625 (2003).

[Shirakawa, 1977] H. Shirakawa, E.J. Louis, A.G. Mac Diamid, C.K. Chiang, A. J. Heeger, Chem.commun, 578 (1977)

[Aziz, 2003] A. Aziz, K. Kassmi, F. Olivié, J. Ballet, Ka . Kassmi, G. Sarrabayrouse, A. Martinez, Rapport LAAS/CNRS (Toulouse/France), N° 03559, (2003).

[Stallinga, 2002] P. Stallinga, H.L. Gomes, M. Murgia, K. Mullen, organic Electronics 3, p. 43-51 (2002)

[Bao, 1996] Z. Bao, A. Dodabalapur, A J. Lovinger, Appl.phys. Lett. 69 (26), 4108 (1996)

[Barta, 1998] P. Barta, J. Sanetra, M. Zagorska, Synth, Metals 94, 119 (1998)

[Musa, 1998] I. Musa, W. Eccleston, Jpn, J. Appl. Phys,37, 4288 (1998)

[Leguerre, 2002] J.R. Leguerre, F. Olivié, J. Ballet, G. Sarrabayrouse, DIELOR – IMN, Nantes, 6-8 / Novembre (2002)

[Kassmi, 2005] K. Kassmi, A. Aziz, F. Olivié, R. Maimouni,G. Sarrabayrouse, A. Martinez, Rapport LAAS/CNRS (Toulouse/France) (2005)

[Khlifi, 2004] Y. Khlifi, K. Kassmi , A.Aziz, F.Olivié, Eur Phys. J. Appl. Phys. 28, 27-41 (2004)

[Aziz, 2004] A. Aziz, K. Kassmi, Ka. Kassmi and F. Olivié, Semicond. Sci. Technol, Semicond. Sci. Technol, 19 877–884 (2004)

[Sze, 1981] S.M.Sze, Physics of Semiconductor Devices, J. Weley New York (1981).

[Kassmi, 2003a] K. Kassmi, A. Aziz, F. Olivié, J. Ballet, G. Sarrabayrouse, A. Martinez, Rapport

LAAS/CNRS (Toulouse/France), N° 03443 (2003)

[Kassmi, 2003b] K. Kassmi, A. Aziz, F. Olivié, J. Ballet, G. Sarrabayrouse, A. Martinez, Rapport LAAS/CNRS (Toulouse/France), N° 03444 (2003).

[Kassmi, 2003c] A. Aziz, F. Olivie, K. Kassmi, Ka. Kassmi, G. Sarrabayrouse, A. Martinez, Faculté des Sciences, Ben M'Sik, Casablanca, 18-19 Septembre, p. 77-78, Maroc (2003)

[Wolf, 1999] U. Wolf, V.I. Arkhipov, H. Bassler, Phys. Review B, Vol.59, N°11 (1999)

[Assadi, 1993] A. Assadi, Y. Fu, M. Willander and C. Svenson, Jpn, A. Appl. Phys, vol 32, pp. 1696-1699 (1993)

[Barth, 1999] S. Barth, U. Wolf and H. Bassler, Physical Review B, Vol 60, N° 12, 15 Sept, pp. 8791-8797 (1999)

[Lenzlinger, 1969] M. Lenzlinger, E.H. Snow, J. Appl. Phys. 40, p. 278 (1969).