



HAL
open science

Mécanismes de dérive du courant d'obscurité sur des photodiodes GaInAs/InP planar passivées par SiNx

F. Ducroquet, G. Guillot, A. Nouailhat, J.C. Renaud

► **To cite this version:**

F. Ducroquet, G. Guillot, A. Nouailhat, J.C. Renaud. Mécanismes de dérive du courant d'obscurité sur des photodiodes GaInAs/InP planar passivées par SiNx. *Revue de Physique Appliquée*, 1989, 24 (1), pp.57-63. 10.1051/rphysap:0198900240105700 . jpa-00246029

HAL Id: jpa-00246029

<https://hal.science/jpa-00246029>

Submitted on 4 Feb 2008

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.

Classification

Physics Abstracts

42.80 — 73.40L — 73.90

Mécanismes de dérive du courant d'obscurité sur des photodiodes GaInAs/InP planar passivées par SiN_x

F. Ducroquet ⁽¹⁾, G. Guillot ⁽¹⁾, A. Nouailhat ⁽²⁾ et J. C. Renaud ⁽³⁾⁽¹⁾ Laboratoire de Physique de la Matière (UA 358), INSA de Lyon, 20 avenue Albert-Einstein, 69621 Villeurbanne Cedex, France⁽²⁾ CNET-CNS, Chemin du vieux chêne, 38243 Meylan Cedex, France⁽³⁾ CNET, Laboratoire de Bagneux, 196 avenue Henri-Ravera, 92220 Bagneux, France(Reçu le 1^{er} juillet 1988, accepté le 27 septembre 1988)

Résumé. — Deux phénomènes de dérives du courant d'obscurité sous polarisation inverse fixe sont observés sur des photodiodes PIN GaInAs/InP passivées par nitrure de silicium : 1) à température ambiante, apparaît une augmentation du courant en fonction du temps ; 2) à basse température ($T < 200$ K), une diminution de celui-ci. Ces dérives, entraînant des phénomènes d'hystérésis dans les caractéristiques inverses courant-tension, sont associées à des effets de surface, dus à la technique de passivation.

Abstract. — For fixed reverse bias voltage, two dark current drift phenomena are observed in GaInAs/InP PIN photodiodes, passivated by silicon nitride : 1) at room temperature, a current increase occurs in time ; 2) at low temperature ($T < 200$ K), a current decrease appears. These drifts, which lead to hysteresis in reverse current-voltage characteristics are attributed to surface effects, due to passivation technique.

1. Introduction.

Les photodétecteurs GaInAs sont très utilisés dans le domaine des communications par fibres optiques dans la gamme spectrale 1,3-1,5 μm . Pour optimiser la sensibilité de ces dispositifs, il est nécessaire de minimiser le courant d'obscurité et d'assurer la stabilité des caractéristiques en fonctionnement. Actuellement, il apparaît que le courant d'obscurité reste souvent dominé par un courant de surface que seule une passivation efficace permet de réduire et de stabiliser [1, 2].

Nous avons étudié l'évolution du courant sous polarisation inverse fixe pour des structures passivées par nitrure de silicium déposé suivant trois techniques différentes, et nous avons utilisé les résultats comme critères de comparaison de ces méthodes de passivation. Des phénomènes de dérive ont été observés dans deux cas.

2. Structures des dispositifs.

Les photodiodes PIN GaInAs/InP de type planar sont constituées d'une couche tampon GaInAs ou InP(n) et d'une couche active GaInAs(n⁻), épi-

taxiées sur substrat InP. Un masque de nitrure de silicium (SiN_x) d'environ 2 000 Å d'épaisseur est déposé sur la surface en GaInAs désoxydée par une solution à base d'acide fluorhydrique. Ce film de SiN_x délimite la zone active de la jonction p-n obtenue par diffusion de Zn par la méthode de l'ampoule semi-fermée, et assure également la passivation de la jonction. Trois techniques de dépôt ont été utilisées :

— « Chemical Vapor Deposition » (CVD) : ce dépôt est réalisé à haute température (700 °C).

— « Plasma Enhanced CVD » (PECVD) : ce procédé permet une réaction à plus basse température (350 °C) ; il est effectué sous basse pression à haute fréquence (13,56 MHz).

— « Photo Enhanced CVD » (UVCVD) : la réaction étant activée par lampes Ultra-Violettes, cette technique autorise des dépôts à basse température (200 °C) [3].

Les contacts ohmiques sont obtenus par évaporation de l'alliage AuGeNi pour InP(n⁺) et de Ti-Au pour GaInAs(p⁺). Les échantillons sont montés sur boîtier TO-18. Un schéma de ces structures est donné figure 1 et les principales caractéristiques de chaque série sont reportées dans le tableau I.

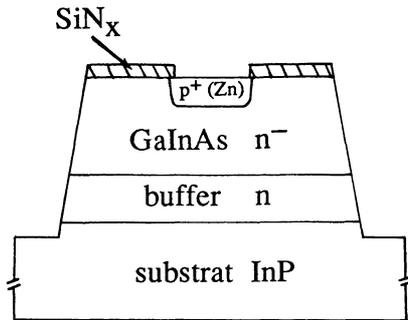


Fig. 1. — Vue schématique des photodiodes PIN planar.
[Cross-sectional view of planar PIN photodiodes.]

3. Résultats expérimentaux.

3.1 DÉRIVE DU COURANT. — Les caractéristiques inverses courant-tension des échantillons obtenus par UVCVD et CVD ont montré une forte dépendance aux conditions dynamiques de mesure (vitesse de balayage en tension). Cette observation nous a conduit à prendre comme procédure expérimentale l'enregistrement du courant d'obscurité sous polarisation inverse fixe en fonction du temps. Pour avoir des conditions initiales fixes de référence, nous sommes obligés d'effectuer un retour à 300 K de quelques minutes sous zéro volt, l'état d'équilibre n'étant pas possible à obtenir à basse température dans un délai correct. La procédure adoptée pour l'acquisition de ces transitoires est donnée figure 2 ; les résultats sont présentés par les figures 3a, b, c.

Deux comportements différents apparaissent en fonction de la température :

1) à température ambiante, on observe une augmentation du courant, qui se stabilise quelques

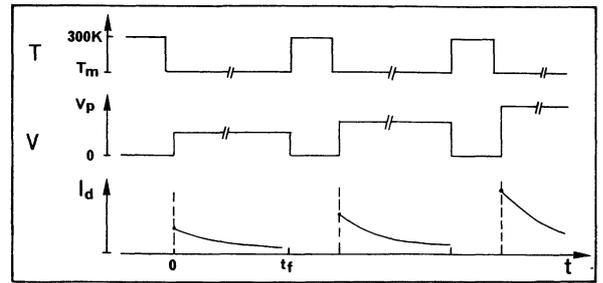


Fig. 2. — Procédure expérimentale pour l'enregistrement de transitoires : l'échantillon est maintenu quelques minutes à 300 K sous 0 V avant d'être porté à la température de mesure T_m ; il est alors polarisé en inverse (V_p) et on enregistre $I_d(t)$.

[Experimental sequence for transient recording : the sample is kept a few minutes at 300 K under 0 V before putting it at measurement temperature T_m ; a reverse bias voltage (V_p) is applied and $I_d(t)$ is recorded.]

secondes après l'application de la tension inverse V_p . Ce phénomène est visible sur les échantillons de la série UVCVD. Un exemple de la dépendance avec V_p est donné figure 3a ;

2) à basse température ($T < 200$ K), on note une diminution du courant, qui suit une évolution quasi logarithmique avec le temps de polarisation. Une telle décroissance du courant ($\approx 70\%$) intervient sur les échantillons des séries UVCVD (Fig. 3b) et CVD (Fig. 3c).

Aucune dérive significative ($> 10\%$) n'est apparue sur les diodes passivées par PECVD.

Il apparaît donc que l'existence et l'amplitude de ces dérives peuvent être considérées comme une caractéristique propre à chaque technique de passivation.

Tableau I. — Principales caractéristiques des structures étudiées.

[Main properties of investigated photodiodes.]

Procédé de passivation	Mode d'épitaxie	Substrat	Couche tampon { dopage épaisseur	Couche active { dopage épaisseur	Profondeur de jonction	Diamètre de zone active
CVD SiN _x	LPE	InP n ⁺	InP non dopé	GaInAs n ⁻ 5-8 × 10 ¹⁵ cm ⁻³ 3 μm	0,4 μm	40 μm
PECVD SiN _x	MBE	InP S.I.	GaInAs n 10 ¹⁶ cm ⁻³ 1,3 μm	GaInAs n ⁻ 3-5 × 10 ¹⁵ cm ⁻³ 3 μm	0,6 μm	40 μm
UVCVD SiN _x	LPE	InP n ⁺	InP non dopé 2 μm	GaInAs n ⁻ 2-5 × 10 ¹⁵ cm ⁻³ 4 μm	0,9 μm	300 μm
UVCVD SiN _x	LPE	InP n ⁺	InP non dopé 2 μm	GaInAs n ⁻ 2-5 × 10 ¹⁵ cm ⁻³ 3,5 μm	1,1 μm	40 μm

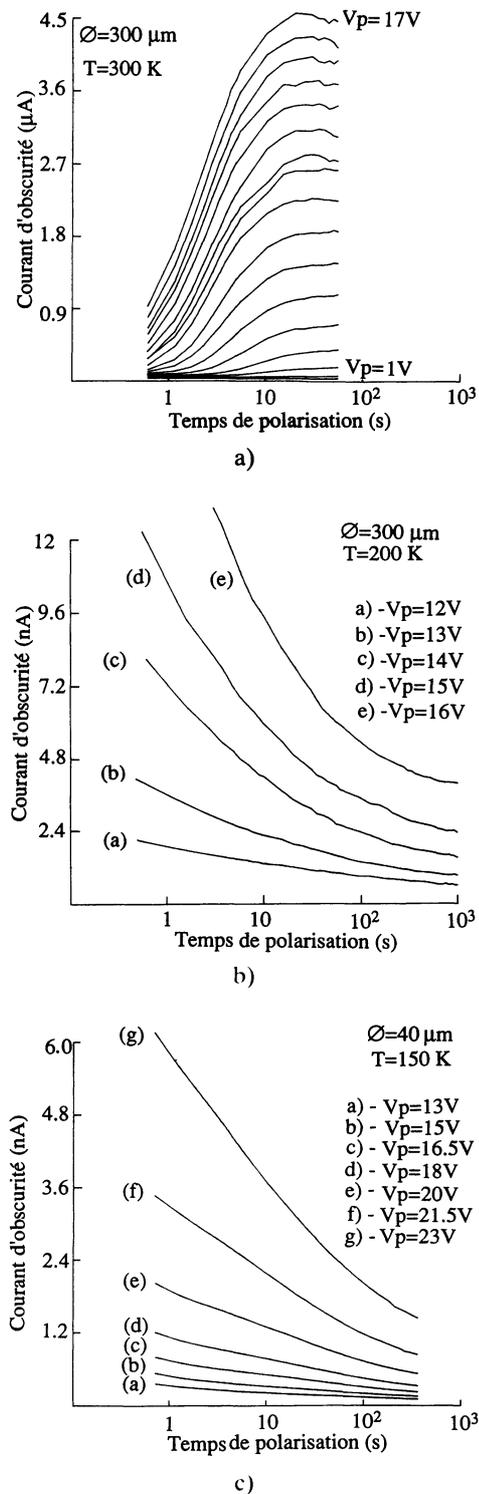


Fig. 3. — Transitoires de courant pour différentes valeurs de polarisation inverse V_p : — pour des photodiodes passivées par SiN_x -UVCVD, figure 3a : à $T_m = 300$ K (pour V_p de 1 à 17 V par pas de 1 V), figure 3b : à $T_m = 200$ K ; — pour des photodiodes passivées par SiN_x -CVD, figure 3c : à $T_m = 150$ K.

[Current transients for different bias voltage V_p : — on photodiodes passivated by UVCVD- SiN_x , figure 3a : at $T_m = 300$ K (for V_p from 1 to 17 V by 1 V step), figure 3b : at $T_m = 200$ K ; — on photodiodes passivated by CVD- SiN_x , figure 3c : at $T_m = 150$ K.]

Les modifications induites par ces effets ont été étudiées pour différentes conditions initiales de mesure, sur deux structures (CVD et UVCVD) ayant présenté de fortes dérives.

3.2 CARACTÉRISTIQUES COURANT-TENSION. — Deux procédures expérimentales ont été appliquées pour rendre compte de l'allure des caractéristiques I - V « avant » et « après » le processus de dérive :

1) en partant de l'équilibre thermique initial (sous 0 V), un balayage rapide en tension (1 V/s) permet d'obtenir une courbe où l'effet de ces phénomènes lentement variables est négligeable ; ces caractéristiques correspondent aux courbes en pointillés des figures 4a et 4b pour les échantillons UVCVD et 4c pour les échantillons CVD ;

2) les conditions initiales sont, dans ce cas, fixées par l'état d'équilibre atteint à la fin de l'enregistrement d'un transitoire, lorsque le courant n'évolue plus de façon significative (correspondant à $t = t_f$ en figure 2, ces conditions sont alors définies par V_p et T). Les caractéristiques I - V ainsi obtenues sont représentées en trait plein sur les figures 4 ; un exemple de la dépendance avec V_p est donné figure 4b, pour les échantillons UVCVD.

4. Discussion.

L'amplitude particulièrement importante de la variation temporelle du courant, observée sur les échantillons passivés par UVCVD et CVD nous amène à penser que ces phénomènes sont induits à la périphérie de la jonction p^+ - n et en particulier dus à l'interface diélectrique/semi-conducteur.

De tels exemples de dérive ont déjà été notés sur différents types de dispositifs à base d' InGaAs et d' InGaAsP [4, 5]. Ces processus sont alors attribués à des transferts de charges entre la surface du semi-conducteur et le diélectrique de passivation (plus précisément l'oxyde natif présent à l'interface). Leur variation, sur la base des travaux d'Heiman et Warfield [6], est interprétée par un mécanisme tunnel, et est prise en compte en supposant une section efficace de capture décroissant exponentiellement avec la distance, de la forme : $\sigma(E, x) = \sigma_0(E) \exp(-a \cdot x)$ où a est une constante qui dépend de la masse effective et de la hauteur de barrière effective du processus tunnel, ce qui conduit à une évolution logarithmique en fonction du temps, du nombre de charges transférées [4, 5].

La décroissance quasi logarithmique du courant en fonction du temps, observée sur les échantillons UVCVD et CVD à basse température, ainsi que le caractère pratiquement non réversible de cette dérive, sont en accord avec cette interprétation ; l'écart au comportement logarithmique proviendrait du mécanisme à l'origine du courant qui ne serait pas directement proportionnel à la densité de charges

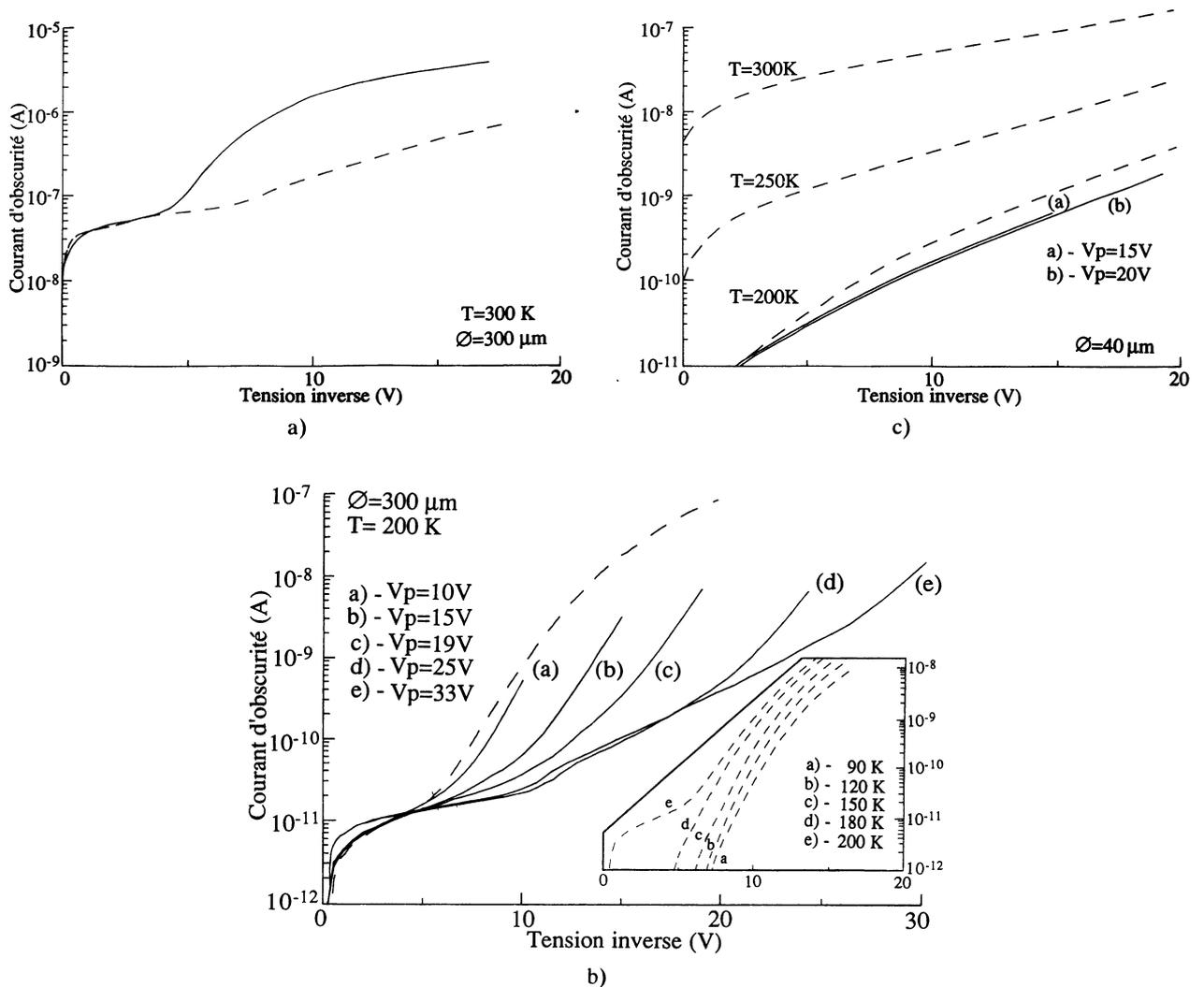


Fig. 4. — Caractéristiques courant-tension : --- : courbes réalisées par balayage rapide en tension à partir de l'équilibre thermique initial ; — : courbes obtenues à la fin de l'enregistrement d'un transitoire. — Pour des photodiodes passivées par UVCVD : figure 4a : à $T_m = 300$ K ; figure 4b : à $T_m = 200$ K (l'encadré montre la dépendance en température des courbes obtenues par balayage rapide). — Pour des photodiodes passivées par CVD : figure 4c : à $T_m = 200$ K (les caractéristiques I - V sont également données pour $T = 250$ K et 300 K).

[Current-voltage characteristics : --- : for fast bias scanning speed from the initial thermal equilibrium ; — : at the end of transient recording. — On photodiodes passivated by UVCVD : figure 4a : at $T_m = 300$ K ; figure 4b : at $T_m = 200$ K (the inset shows the temperature dependence). — On photodiodes passivated by CVD : figure 4c : at $T_m = 200$ K (current-voltage characteristics are also given at $T = 250$ K and 300 K).]

qui transfèrent. De façon générale, le courant d'obscurité a lieu, dans notre cas, à la périphérie de la jonction et est contrôlé par des charges localisées près de l'interface diélectrique/semi-conducteur. Les variations de concentration de ces charges, en modifiant les courbures de bandes en surface, peuvent induire de fortes variations de ce courant (d'autant plus importantes que la concentration de défauts dans cette zone est élevée), et entraîner sa dérive temporelle. Elles peuvent agir de deux façons : 1) à l'interface entre le diélectrique et le semi-conducteur (courant noté I_S sur le schéma de la Fig. 5) ; 2) à la partie périphérique de la jonction (courant noté

$I_{J,P}$), dans la zone de charge d'espace en surface de GaInAs.

Les résultats très différents obtenus suivant les techniques de passivation utilisées, confirment le rôle déterminant du diélectrique, et principalement de sa procédure de dépôt, sur l'importance du courant de fuite et de ses variations. En effet, si des travaux ont montré [2] que certains procédés de dépôt de diélectrique (PECVD en particulier), dégradent fortement les propriétés de surface de GaInAs et pouvaient conduire à la formation d'un canal en surface, il est également mentionné que ce type de dépôt permettait d'obtenir une bonne stabi-

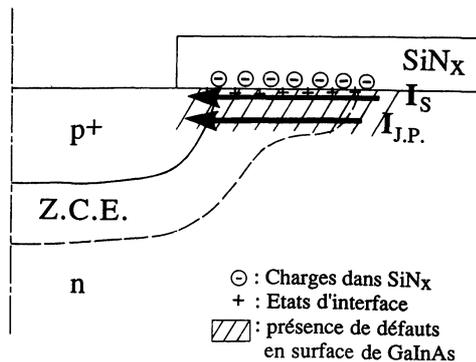


Fig. 5. — Schéma illustrant le modèle proposé.

[Proposed model.]

lité temporelle des composants [1]. D'autres facteurs peuvent donc jouer un rôle important, tels que la préparation de la surface avant le dépôt, ou la présence d'oxyde natif [5], et sa composition [7]. Il est d'ailleurs à noter qu'en absence d'oxyde natif, les photodiodes passivées par SiNx déposé par UVCVD ont donné de bonnes caractéristiques électriques et qu'aucune dérive n'a été observée [8].

Dans le but de comprendre les mécanismes du courant de fuite, et le rôle joué par les défauts présents dans l'oxyde natif et ceux qui pourraient se situer dans la couche contiguë du semi-conducteur, il est nécessaire d'analyser les caractéristiques I-V, et le cursus des transitoires associés.

L'analyse des caractéristiques I-V des diodes passivées par PECVD (Fig. 6) doit nous renseigner sur le type de courant qui domine en absence de phénomènes de dérive. Il apparaît que le courant suit en première approximation une évolution exponentielle avec la tension inverse de la forme : $I = I_0 \exp(a \cdot V)$. Ce comportement est observé en réf-

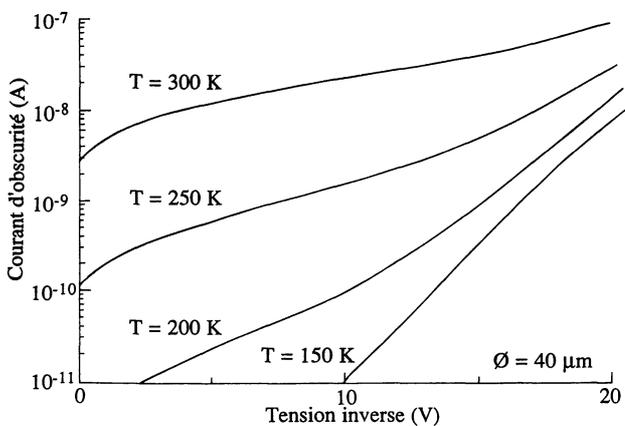


Fig. 6. — Caractéristiques courant-tension de photodiodes passivées par SiNx déposé par PECVD.

[Current-voltage characteristics of photodiodes passivated by PECVD-SiNx.]

rence [9] sur ce type de structures, expliqué par un mécanisme de génération par l'intermédiaire de défauts, activé par champ électrique. L'augmentation de ce courant de génération, supérieure à $V^{1/2}$ dès les basses tensions laisse supposer que son origine est localisée à la surface de GaInAs, ce qui paraît d'autant plus probable que l'existence d'une zone endommagée par le dépôt assisté par plasma, en surface de GaInAs est connu [2]. Dans le schéma proposé (Fig. 5), il s'agit probablement d'un courant $I_{J.P.}$.

Aux tensions plus élevées, un courant d'origine tunnel prédomine. Il pourrait s'agir d'un courant tunnel assisté par des pièges de volume, cette hypothèse devrait être vérifiée par des mesures D.L.T.S.

Les caractéristiques I-V de la série CVD obtenues par balayage rapide en tension (cf. les courbes en pointillé de la Fig. 4c), correspondant donc pour chaque valeur de V, à la valeur initiale de $I(t)$ des cinétiques de dérive, montrent également une augmentation exponentielle du courant avec la tension inverse. Le processus mis en jeu est thermiquement activé ; pour V fixé, le courant varie avec T suivant une loi de type : $\exp(-\Delta E/k \cdot T)$ dans une gamme de température comprise entre 200 et 300 K ; l'énergie d'activation ainsi déduite est estimée à 0,25 eV pour $V = 10$ V, à 0,20 eV pour $V = 18$ V. Nous vérifions également que les paramètres $\ln(I_0)$ et a varient linéairement avec l'inverse de la température (Fig. 7), indiquant que l'énergie d'activation du processus diminue à mesure que la tension inverse augmente [10].

Après maintien à tension de polarisation élevée, on observe une caractéristique I-V, dont la pente est identique à celle de la courbe obtenue par balayage

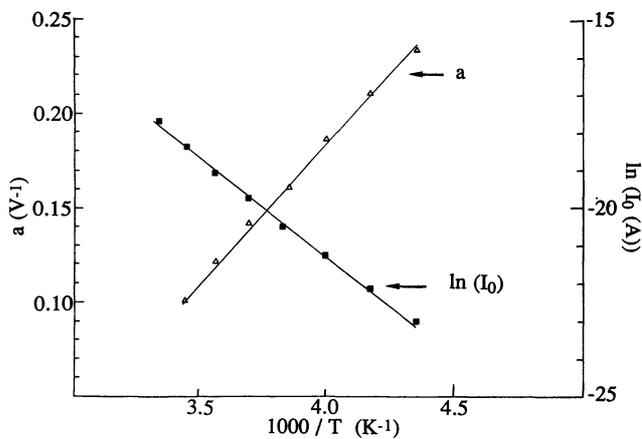


Fig. 7. — Variations de $\ln(I_0)$ et a avec la température en posant : $I_d = I_0 \exp(a \cdot V)$ (photodiodes passivées par CVD).

[Temperature dependance of $\ln(I_0)$ and a when I_d is fitted by : $I_d = I_0 \exp(a \cdot V)$ (CVD passivated photodiodes).]

rapide, indiquant que le phénomène existe toujours, seul I_0 ayant diminué (courbes en trait plein de la Fig. 4c). L'évolution des charges mobiles, dont la présence à l'interface est favorisée par le dépôt CVD qui est réalisé à haute température [1], peut modifier la répartition des potentiels en surface, entraînant la variation de la zone de charge d'espace en surface, à l'origine de la dérive du courant d'obscurité. Dans le schéma de la figure 5, ce courant serait de type $I_{J.P.}$, en supposant qu'une zone en surface de GaInAs soit dégradée par ce type de dépôt.

Les caractéristiques I - V des échantillons UVCVD présentent à basse et haute températures des dérives inversées (Figs. 3a et 3b).

À basse température, le courant d'obscurité obtenu par balayage rapide en tension (courbes en pointillés de la Fig. 4b), augmente en fonction de V suivant une loi de la forme $I \propto F_m \cdot V \times \exp(-\alpha/F_m)$ [11], (où F_m est le champ électrique maximal de la jonction), qui l'apparente à un effet tunnel ; ceci est confirmé par une évolution pratiquement indépendante de la température (pour T compris entre 90 et 200 K ; cf. encadré Fig. 4b).

Après maintien sous polarisation fixe inférieure à 20 V, les caractéristiques I - V obtenues (courbes en trait plein de la Fig. 4b), sont simplement translatées vers les tensions plus élevées, indiquant que ce mécanisme tunnel intervient encore. Ce courant pourrait correspondre à un courant I_s (Fig. 5), qui dépend principalement des charges présentes dans le diélectrique et des états d'interface, la densité de ces états pourrait être suffisamment faible sur ces structures passivées par UVCVD, pour permettre des variations du niveau de Fermi en surface.

Pour des tensions de polarisation V_p plus importantes, le mécanisme mis en jeu semble différent, mais son origine reste inexplicée de même que l'apparition d'une marche en courant autour de 12 V.

À température ambiante, le courant initial (correspondant au temps $t = 0$ des cinétiques $I(t)$) est minimum. Sa dépendance en $V^{1/2}$ est décrite par un courant de génération thermique dans la zone déplétée de GaInAs, donnée par l'expression : $I_{gr} \propto q \cdot n_i \cdot A \cdot W / \tau_{eff}$ [12] (où n_i est la concentration intrinsèque de porteurs, W la largeur de la zone désertée, τ_{eff} la durée de vie effective des porteurs et A l'aire de la jonction). À partir d'échantillons de diamètres différents, nous vérifions que ce courant est proportionnel à l'aire de la jonction et donc d'origine volumique, ce qui est en accord avec

l'hypothèse mentionnant que le procédé de dépôt UVCVD réalisé à basse température n'entraîne pas de dégradations de la surface de GaInAs [8].

Après stabilisation, c'est-à-dire pour des valeurs de $I(V)$ correspondant en chaque point à un temps de polarisation suffisamment long, le courant beaucoup plus important au-dessus de 5 V est de type ohmique, suivant une évolution linéaire en fonction de V , ce qui indique un courant de fuite en surface (courant de type I_s sur le schéma de la Fig. 5). Celui-ci n'apparaissant qu'au bout d'un certain temps sous polarisation, doit provenir d'un mécanisme généré ou contrôlé par les charges du diélectrique, qui pourraient être localisées dans la couche d'oxyde natif, celle-ci jouant le rôle de canal de conduction.

Conclusion.

Deux phénomènes de dérive du courant d'obscurité sous polarisation inverse ont été mis en évidence sur des photodiodes planar passivées par SiN_x . Il apparaît que la contribution des effets de bords sur l'amplitude du courant d'obscurité et sa stabilité dépend fortement du dispositif étudié et principalement de la technique de passivation.

Dans le but de comprendre les mécanismes du courant de fuite, nous avons été amenés à supposer l'existence de deux effets :

1) un effet de surface (courant I_s), faisant intervenir d'une part la présence de charges dans le diélectrique, d'autre part, la densité des états d'interface ;

2) un effet relatif à l'existence d'une zone de charge d'espace en surface de GaInAs (courant noté $I_{J.P.}$) ; le courant de fuite qu'elle entraîne dépend de la présence de défauts dans le semi-conducteur, induit par le procédé de dépôt, dans la zone déplétée au voisinage de la surface.

Les dérives particulièrement importantes observées sur les échantillons passivés par UVCVD, sembleraient confirmer le rôle de la préparation de la surface avant le dépôt, d'autant plus important que la technique de passivation est douce.

Afin de conforter ces hypothèses, il conviendrait de préciser la nature des défauts responsables du courant de fuite en surface ; en particulier, l'existence de tels défauts dans la zone périphérique pourrait être mise en évidence par une étude D.L.T.S.

Bibliographie

- [1] RIPOCHE, G., DECOR, Ph., BLANJOT, C., BOURDON, B., SALSAC, P., DUDA, E., *IEEE Electron Dev. Lett.* EDL 6 (1985) 631.
- [2] OTA, Y., HU, P. H. S., SEABURY, C. W., BROWN, M. G., *J. Appl. Phys.* 61 (1987) 404.
- [3] DIMITRIOU, P., Proc. E-MRS (1986) 349.
- [4] FUKUDA, M., *J. Appl. Phys.* 59 (1986) 4172.
- [5] TAILLEPIED, M., GOURRIER, S., *Appl. Phys. Lett.* 48 (1986) 978.
- [6] HEIMAN, F. P., WARFIELD, D., *IEEE Trans. Electron Dev.* ED 12 (1965) 167.
- [7] CAPASSO, F., WILLIAMS, G. F., *J. Electrochem. Soc.* 129 (1982) 821.
- [8] RENAUD, J. C., ALLOVON, M., DIMITRIOU, P., LUGIEZ, F., SCAVENNEC, A., Proc. ECOC (1986) 285.
- [9] PATILLON, J. N., MAKRAM-EBEID, S., CHANE, J. P., MARTIN, B. G., MARTIN, G. M., Int. Symp. GaAs and related Compounds, Biarritz Inst. of Phys. Conf. Ser. 74 (1984) 475.
- [10] PHILIPPE, P., POULAIN, P., KAZMIERSKI, K., DE CREMOUX, B., *J. Appl. Phys.* 59 (1986) 1771.
- [11] STILLMAN, G. E., COOK, L. W., BULMAN, G. E., TABATABAIE, N., CHIN, R., DAPKUS, P. D., *IEEE Trans. Electron Dev.* ED 29 (1982) 1355.
- [12] SZE, S. M., *Physics of semi-conductor devices* (Wiley New York) 1981.
-