



HAL
open science

Passivation de photodiodes pin en GaInAs par SiN_x UVCVD

Y. Le Bellégo, P. Blanconnier, J.P. Praseuth

► **To cite this version:**

Y. Le Bellégo, P. Blanconnier, J.P. Praseuth. Passivation de photodiodes pin en GaInAs par SiN_x UVCVD. *Revue de Physique Appliquée*, 1990, 25 (9), pp.941-945. 10.1051/rphysap:01990002509094100 . jpa-00246260

HAL Id: jpa-00246260

<https://hal.science/jpa-00246260>

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
 73.40R

Passivation de photodiodes pin en GaInAs par SiN_x UVCVD

Y. Le Bellégo, P. Blanconnier et J. P. Praseuth

Centre National d'Etudes des Télécommunications, Laboratoire de Bagneux, 196 avenue Henri Ravera, 92220 Bagneux, France

(Reçu le 20 décembre 1989, révisé le 11 juin 1990, accepté le 15 juin 1990)

Résumé. — Des films de SiN_x ont été déposés à basse température par UVCVD pour la passivation de photodiodes pin en GaInAs. La structure physique du SiN_x a été évaluée par spectroscopie IR et ses caractéristiques électriques grâce à la réalisation de structures MIS sur GaInAs et InP. Aucune dégradation du courant de fuite n'a été observé sur les photodiodes pin de type mesa avant et après le dépôt de SiN_x. Finalement, la passivation a été testée par une expérience de vieillissement à haute température.

Abstract. — UVCVD SiN_x thin films has been deposited at low temperature for the passivation of GaInAs pin photodiodes. A structural evaluation of the SiN_x has been made by IR spectroscopy and its electrical characteristics has been evaluated on GaInAs and InP MIS structures. No degradation of the leakage current has been observed on mesa type GaInAs pin photodiodes before and after the UVCVD SiN_x deposition. Finally, the passivation efficiency has been assessed by a high temperature aging experiment.

1. Introduction.

Le développement des télécommunications par fibres optiques a conduit à étudier des matériaux susceptibles de fonctionner dans les gammes de faible absorption de celles-ci : 1,3 et 1,55 μm. En ce qui concerne les photodétecteurs, l'alliage ternaire Ga_xIn_{1-x}As a été étudié avec succès. Cependant, les jonctions p-n réalisées dans ces matériaux se dégradent rapidement sous polarisation inverse lorsqu'elles sont exposées à l'atmosphère. La passivation de ces jonctions est donc une étape indispensable au développement de ce type de matériaux.

Notre étude a porté sur une structure du type photodiode pin réalisée à partir d'une couche Ga_{0,47}In_{0,53}As non dopée, épitaxiée par EJM (épitaxie par jets moléculaires) en accord de maille sur InP n⁺. La zone p⁺ est obtenue par diffusion de zinc dans le GaInAs suivant la technique de la boîte semi-fermée [1]. La structure finale est obtenue par gravure chimique du ternaire jusqu'à l'InP (Fig. 1).

Les résistivités élevées des films de nitrure de silicium et leur bonne qualité de masque de diffusion nous ont conduit à choisir ce diélectrique comme film passivant. De plus, la méthode de dépôt du diélectrique sur ces matériaux doit d'une part avoir lieu à basse température (< 300 °C) pour éviter l'exodiffusion du matériau de la colonne V, et

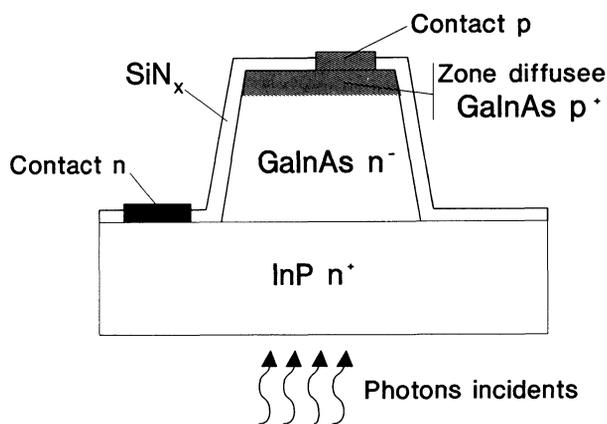


Fig. 1. — Photodiode pin de type mesa en Ga_{0,47}In_{0,53}As/InP. $n^- = 5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, $n^+ = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, $p^+ = 2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$.

[Ga_{0,47}In_{0,53}As/InP mesa type pin photodiode. $n^- = 5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, $n^+ = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, $p^+ = 2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$.]

d'autre part ne doit pas mettre en jeu d'espèces trop énergétiques susceptibles de dégrader le matériau en particulier lors d'un dépôt passivant sur une jonction pn déjà réalisée. L'UVCVD (dépôt chimique en phase vapeur assisté par ultraviolets) déjà utilisé dans le laboratoire pour d'autres applications [2] répond à ces exigences. Cette technique est basée

sur la dissociation des espèces réactives SiH_4 et NH_3 grâce à des vapeurs de mercure photo-excité par la raie 254 nm des lampes UV. Les dépôts de SiN_x ont été réalisés dans un réacteur Tylan-PVD 1000. Dans un premier temps, une étude des caractéristiques physiques et électriques du SiN_x UVCVD a été menée par spectrométrie infrarouge sur des films déposés sur silicium et InP, et par mesures $C(V)$ sur des structures MIS sur InP et sur GaInAs. Ce diélectrique a finalement été utilisé comme film passivant des photodiodes pin GaInAs/InP de type mesa, et l'efficacité de la passivation a été testée.

2. Caractérisations structurales et électriques.

La vitesse de dépôt du SiN_x par UVCVD est très lente et n'est pas constante pendant la manipulation du fait du dépôt de nitrure de silicium sur la fenêtre en quartz absorbant partiellement la raie 254 nm de la lampe à vapeur de mercure (Fig. 2). Une étude en fonction de la température entre 50 °C et 250 °C a permis de montrer (Fig. 3) que l'expression de la vitesse de dépôt pour des films sensiblement de

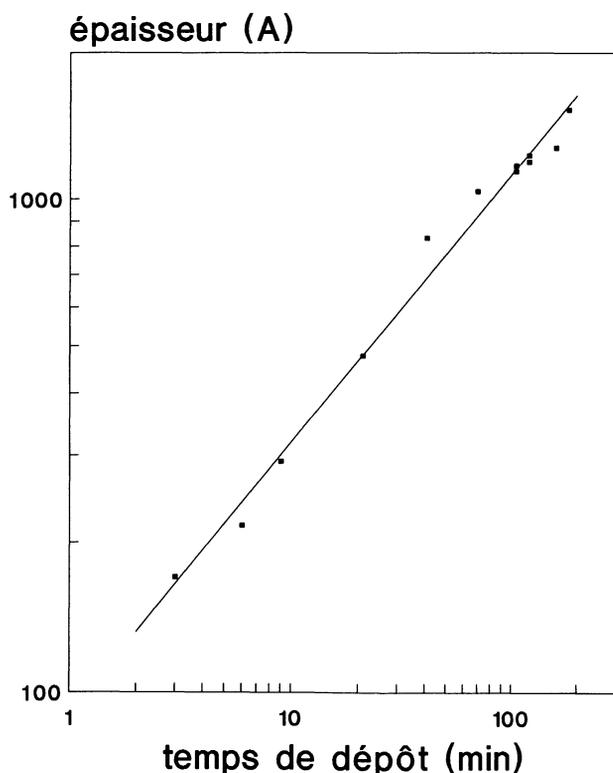


Fig. 2. — Epaisseur de dépôt (Å) du SiN_x UVCVD en fonction du temps de manipulation, pour une température de dépôt de 180 °C.

[Film thickness (Å) of the UVCVD SiN_x versus time deposition, for a temperature of 180 °C.]

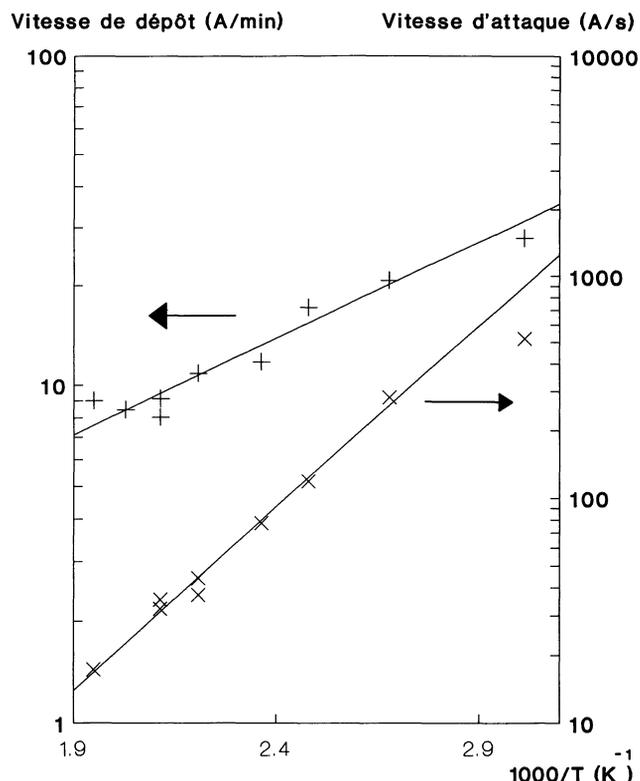


Fig. 3. — Vitesse de dépôt (a) ($\text{Å}\cdot\text{min}^{-1}$) et vitesse d'attaque au HF tamponné (b) ($\text{Å}\cdot\text{s}^{-1}$) en fonction de la température de dépôt.

[Deposition rate (a) ($\text{Å}\cdot\text{min}^{-1}$) and etch rate in the buffered HF solution (b) ($\text{Å}\cdot\text{s}^{-1}$) versus deposition temperature.]

mêmes épaisseurs (exprimée en $\text{Å}\cdot\text{min}^{-1}$) est de la forme :

$$V = b \exp \frac{a}{T}$$

où $a = 1,338 \times 10^3 \text{ K}$ et $b = 5,6 \times 10^{-1} \text{ Å}\cdot\text{min}^{-1}$, et qu'une expression analogue avec $a = 3,744 \times 10^3 \text{ K}$ et $b = 1,14 \times 10^{-2} \text{ Å}\cdot\text{s}^{-1}$ était obtenue pour la vitesse d'attaque du nitrure de silicium au HF tamponné (exprimée en $\text{Å}\cdot\text{s}^{-1}$) (34,6 % NH_4F , 6,8 % HF, 58,6 % H_2O) (Fig. 3). L'indice mesuré par ellipsométrie à 6 328 Å augmente avec l'épaisseur mais cet effet doit probablement être attribué à un effet de l'oxyde de résiduel à l'interface. Typiquement, nous obtenons des indices de 1,9 pour des couches de 1 000 Å.

Les spectres infrarouge obtenus grâce à un spectromètre Perkin Elmer 1760 et réalisés sur du SiN_x UVCVD déposé sur silicium montrent 4 pics essentiels : à 835 cm^{-1} correspondant au mode longitudinal asymétrique de la vibration de la liaison Si-N, à environ $1\,150 \text{ cm}^{-1}$; absorption attribuée au mode transversal de la vibration de la liaison N-H [3], et à $2\,160 \text{ cm}^{-1}$ et $3\,350 \text{ cm}^{-1}$ pour les vibrations longitudinales des liaisons Si-H et N-H respective-

ment. Nous avons montré que l'amplitude de ces pics variait linéairement avec l'épaisseur dans la gamme 300-1 500 Å (Fig. 4), montrant ainsi une composition homogène en épaisseur du SiN_x, et ceci malgré la décroissance de la vitesse de dépôt décrite précédemment, confirmant l'hypothèse d'une influence de l'oxyde d'interface sur les valeurs de l'indice de réfraction. L'homogénéité de composition en épaisseur du SiN_x est confirmée par l'obtention d'une vitesse d'attaque au HF tamponné indépendante de l'épaisseur. Les spectres infrarouge présentent une diminution importante de l'absorption à 2 160 et 3 350 cm⁻¹ lorsque la température de dépôt augmente. A partir de tels spectres, il est possible d'évaluer la concentration d'hydrogène dans le SiN_x par une mesure de l'aire des pics d'absorption de Si-H et N-H, et l'utilisation des sections efficaces de vibration mesurées par Landford et Rand [4, 5] sur des films obtenus par PECVD et ayant des caractéristiques physiques proches de celles du SiN_x UVCVD. Ainsi, la concentration totale d'hydrogène mesurée passe de 2,1 × 10²² cm⁻³ à 7 × 10²¹ cm⁻³ lorsque la température croît (Tab. I).

La caractérisation électrique des films de nitrure de silicium a été menée à partir de structure MIS (TiAu/UVCVD SiN_x/GaInAs n - et TiAu/UVCVD SiN_x/InP n -). Une désoxydation de la surface

Tableau I. — Concentration totale d'hydrogène et concentration des liaisons Si-H et N-H évaluées par la méthode de Landford et Rand, pour des films SiN_x UVCVD obtenus à différentes températures.

[N-H, Si-H and total hydrogen concentration in UVCVD SiN_x films according to Landford and Rand method.]

T (°C)	[N-H] (cm ⁻³)	[Si-H] (cm ⁻³)	C _H (cm ⁻³)
150	5,8 × 10 ²¹	1,80 × 10 ²²	2,38 × 10 ²²
180	5,7 × 10 ²¹	1,66 × 10 ²²	2,23 × 10 ²²
200	6,3 × 10 ²¹	1,36 × 10 ²²	1,99 × 10 ²²
240	0,5 × 10 ²¹	7,0 × 10 ²²	7,5 × 10 ²²

(identique à celle effectuée ultérieurement lors de la passivation des photodiodes pin) est pratiquée avant le dépôt UVCVD. Cette étape est nécessaire dans la mesure où l'instabilité des caractéristiques des photodiodes au cours du temps est généralement attribuée à l'instabilité de l'oxyde natif sur ces matériaux [6]. Le contact en TiAu (φ = 165 μm) est réalisé dans un bâti d'évaporation par effet Joule. Les caractéristiques C(V) et G(V) (Figs. 5, 6) sont mesurées à 1 MHz avec une vitesse de balayage de 0,5 V/s, après un recuit simulant l'étape de diffusion du zinc intervenant lors de la technologie des photodiodes pin InGaAs/InP (500 °C, 20 min). Les résultats déduits de ces courbes sont répertoriés sur le tableau II. La constante diélectrique de 6, obtenue pour les films déposés sur InP et sur GaInAs,

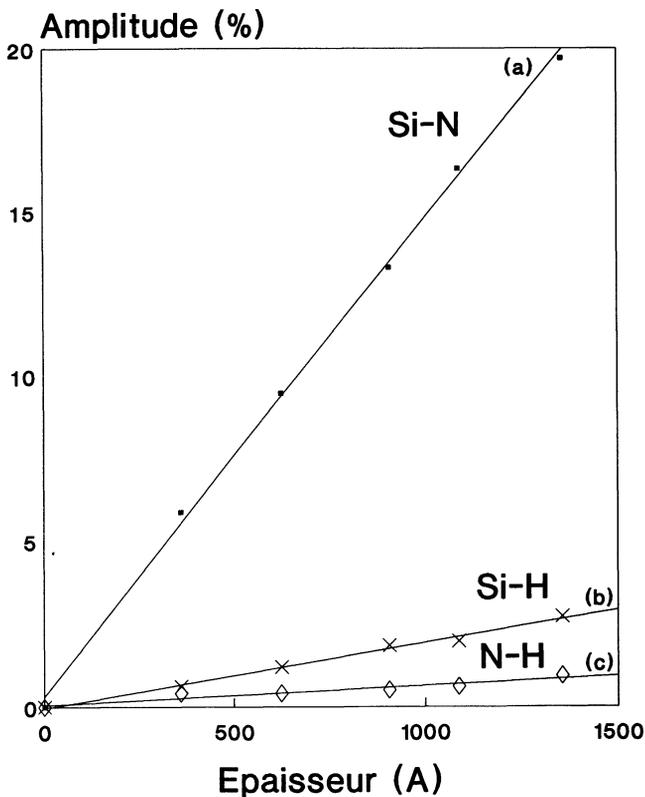


Fig. 4. — Amplitudes des pics d'absorption IR Si-N (a), Si-H (b) et N-H (c) en fonction de l'épaisseur du film.

[Si-N (a), Si-H (b) and N-H (c) IR absorption peaks amplitudes versus film thickness.]

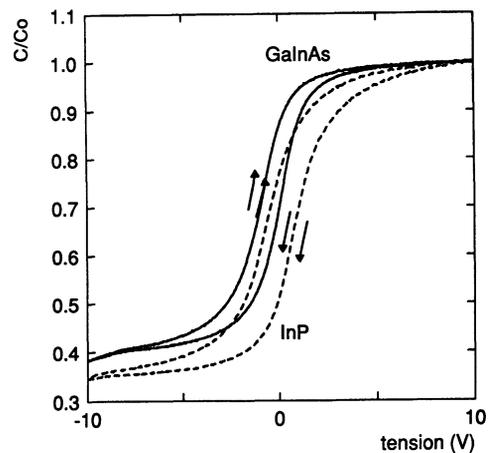


Fig. 5. — Caractéristiques C(V) des structures mis SiN_x/GaInAs et SiN_x/InP mesurées à 1 MHz et avec une vitesse de balayage de 0,5 V.s⁻¹.

[SiN_x/GaInAs and SiN_x/InP mis structures C(V) curves at 1 MHz and a sweep rate of 0.5 V.s⁻¹.]

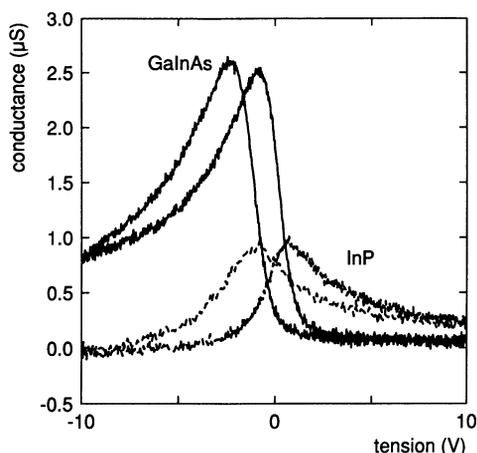


Fig. 6. — Caractéristiques $G(V)$ des structures mis $\text{SiN}_x/\text{GaInAs}$ et SiN_x/InP mesurées à 1 MHz et avec une vitesse de balayage de $0,5 \text{ V.s}^{-1}$.

[$\text{SiN}_x/\text{GaInAs}$ and SiN_x/InP mis structures $G(V)$ curves at 1 MHz and a sweep rate of 0.5 V.s^{-1} .]

Tableau II. — *Caractéristiques électriques des films SiN_x UVCVD recuits à 500°C pendant 20 min, obtenues à partir de structures mis sur GaInAs et sur InP. R est la résistivité du film mesurée à 500 kV.cm^{-1} , V_{FB} est la tension de bande plate, ϵ_r est la constante diélectrique du film, ΔV est l'hystérésis de la caractéristique $C(V)$, N_{ss} est la densité d'états d'interface obtenue par un traitement Terman.*

[Electric characterization of UVCVD SiN_x films after a 500°C anneal during 20 min, obtained from mis on GaInAs and on InP. R is the film resistivity at 500 kV.cm^{-1} , V_{FB} is the flat band voltage, ϵ_r is the dielectric constant of the film, ΔV is the value of the hysteresis, N_{ss} is the interface states density evaluated from Terman calculation.]

	GaInAs	InP
R ($\Omega\text{.cm}$)	5×10^{14}	5×10^{14}
V_{FB} (V)	-1	-1
ϵ_r	6	6
ΔV (V)	1,4	1,9
N_{ss} ($\text{cm}^{-2} \text{ e V}^{-1}$)	6×10^{11}	5×10^{11}

légèrement inférieure à la valeur théorique peut être attribuée à la faible densité (environ $2,6 \text{ g.cm}^{-3}$) du nitrure de silicium UVCVD. Cependant, la résistivité de $5 \times 10^{14} \Omega\text{.cm}$ (pour un champ électrique de 500 kV.cm^{-1}) et le champ électrique de claquage de $4,5 \text{ MV.cm}^{-1}$ confère au SiN_x UVCVD des proprié-

tés intéressantes pour la passivation. De plus, la densité d'états d'interface, évaluée par la méthode Terman [7], faible sur les 2 structures, indique que la méthode de dépôt n'introduit pas de dommages trop importants à la surface du III-V.

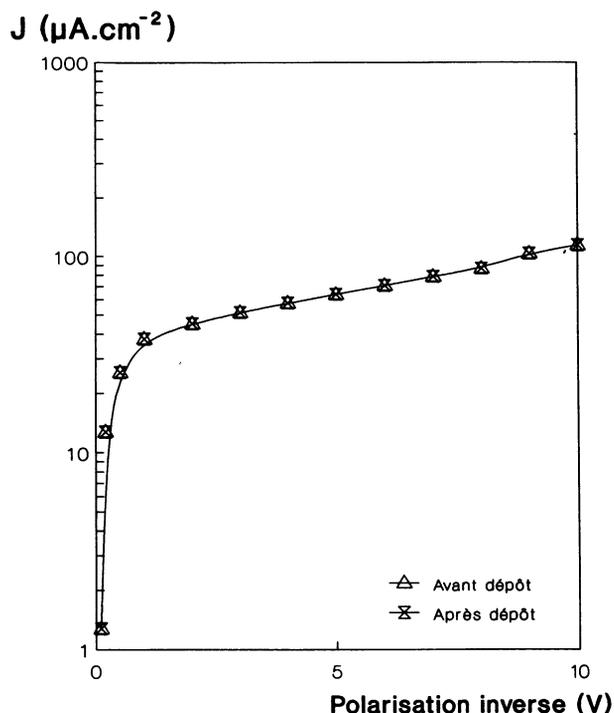


Fig. 7. — Mesure de la densité de courant de fuite, sur des photodiodes pin de type mesa, avant et après dépôt de SiN_x UVCVD.

[Mesa type pin photodiodes dark current density before and after UVCVD SiN_x deposition.]

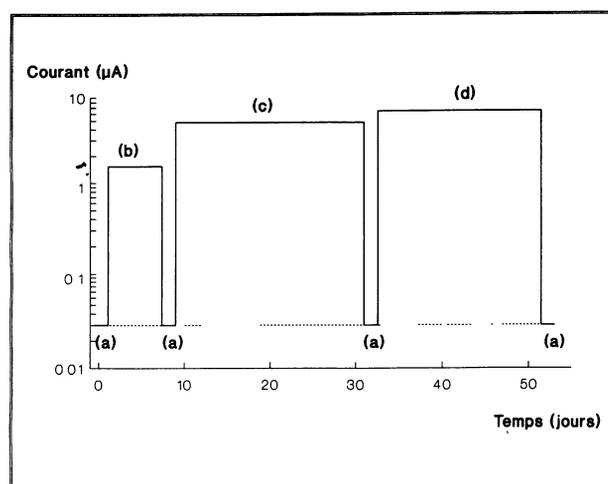


Fig. 8. — Expérience de vieillissement accéléré. Mesure du courant de fuite à -10 V pendant les marches de températures (a) 20°C , (b) 125°C , (c) 145°C et (d) 165°C .

[Aging experiment. Dark current at a 10 V reverse bias at : (a) 20°C , (b) 125°C , (c) 145°C and (d) 165°C .]

3. Passivation.

Nous avons mesuré le courant de fuite des photodiodes pin de type mesa ($\phi = 100 \mu\text{m}$) avant (sous atmosphère neutre) et après dépôt UVCVD (Fig. 7). Ces mesures ne font apparaître aucune modification du courant d'obscurité, confirmant ainsi le fait que la technique UVCVD n'introduit pas de dommages de la surface du GaInAs. En outre, l'efficacité de la passivation a été testée par une expérience de vieillissement accéléré. La photodiode, polarisée à -10 V , a été maintenue à $125 \text{ }^\circ\text{C}$, $145 \text{ }^\circ\text{C}$ et $165 \text{ }^\circ\text{C}$ pendant respectivement 160, 550 et 500 heures (Fig. 8). Durant ces marches de températures, aucune évolution du courant n'a été observée. Le courant de fuite passe de 30 nA à température ambiante, il s'agit alors d'un courant de génération assisté par pièges proches du milieu de la bande interdite (énergie d'activation de $0,45 \text{ eV}$) à $1,25 \mu\text{A}$ à $125 \text{ }^\circ\text{C}$, correspondant à un courant du type

diffusion prédominant à cette température (énergie d'activation de $0,74 \text{ eV}$), valeur très proche de l'énergie du Gap : nous pouvons donc dire qu'à haute température, le courant de fuite est essentiellement du type diffusion et non plus du type génération-recombinaison observé à température ambiante. Yeats *et al.* [8] ont obtenu des résultats similaires sur des photodiodes de même structure passivées par du polyimide.

4. Conclusions.

L'efficacité de la technique UVCVD a été prouvée dans le cas très délicat qu'est la passivation de jonctions p-n déjà réalisées. Cette méthode doit donc pouvoir être appliquée avec profit sur des structures micro-électroniques à base de GaInAs telles que le FET à jonction ou à hétérostructures AlInAs/GaInAs, ou le transistor bipolaire à hétérojonction.

Bibliographie

- [1] HALLALI P., BLANCONNIER P. et PRASEUTH J. P., *J. Electr. Soc.* **135** (1988) 2869.
- [2] SCAVENNEC A., POST G., DIMITRIOU P., COURANT J. L. et LE BEMMÉGO, Proc. 6th Int. Symposium on Passivity (Sapporo, sept. 89), à paraître dans *Solid-State Electron*.
- [3] LUCOVSKY G., YANG J., CHAO S. S., TYLER J. E. and CZUBATYJ W., *Phys. Rev. B* **28** (1983) 3234.
- [4] LANDFORD W. A. and RAND M. J., *J. Appl. Phys.* **49** (1978) 2473.
- [5] LE BELLÉGO Y., RENAUD J. C., BLANCONNIER P., PRASEUTH J. P., *Appl. Surf. Sci.* **39** (1989) 168.
- [6] DUCROQUET F., Thèse de l'INSA de Lyon (1989).
- [7] NICOLLIAN E. H. et BREWS J. R., MOS physics and technology (Wiley, 1982).
- [8] YEATS R. and VON DESSONNECK, *Appl. Phys. Lett.* **44** (1983) 145.