



Jonctions $\text{Ga}_{0,96}\text{Al}_{0,04}\text{Sb}$ adaptées à la photodétection à $1,55\ \mu\text{m}$ réalisées par épitaxie en phase liquide

M. Perotin, L. Gouskov, H. Luquet, A. Jean, P. Silvestre, D. Magallon, C. Martinez, G. Bougnot

► To cite this version:

M. Perotin, L. Gouskov, H. Luquet, A. Jean, P. Silvestre, et al.. Jonctions $\text{Ga}_{0,96}\text{Al}_{0,04}\text{Sb}$ adaptées à la photodétection à $1,55\ \mu\text{m}$ réalisées par épitaxie en phase liquide. *Revue de Physique Appliquée*, 1987, 22 (8), pp.935-938. 10.1051/rphysap:01987002208093500 . jpa-00245635

HAL Id: jpa-00245635

<https://hal.science/jpa-00245635>

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

79.20 — 81.10F — 86.30J

Jonctions $\text{Ga}_{0,96}\text{Al}_{0,04}\text{Sb}$ adaptées à la photodétection à $1,55\ \mu\text{m}$ réalisées par épitaxie en phase liquide

M. Perotin ⁽¹⁾, L. Gouskov ⁽¹⁾, H. Luquet ⁽¹⁾, A. Jean ⁽¹⁾, P. Silvestre ⁽¹⁾, D. Magallon ⁽¹⁾, C. Martinez ⁽²⁾ et G. Bougnot ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Centre d'Electronique de Montpellier (UA CNRS 391), Université des Sciences et Techniques du Languedoc, pl. E. Bataillon, 34060 Montpellier Cedex, France

⁽²⁾ Facultad de Fisicas, Valencia, Espagne

(Reçu le 16 janvier 1987, accepté le 23 mars 1987)

Résumé. — Nous décrivons la méthode de fabrication et les propriétés photoélectriques de trois types de diodes fabriquées à partir de couches de $\text{Ga}_{0,96}\text{Al}_{0,04}\text{Sb}$ déposées par épitaxie en phase liquide sur substrat $\text{n}^+ \text{GaSb}$. 1) Dans les jonctions p^+/n diffusées Zn la conduction inverse, avant avalanche, est dominée par l'effet tunnel ($J(-5\text{ V}) = 8,1 \times 10^{-1}\text{ A/cm}^2$). 2) Dans les jonctions p/n épitaxiées on observe une réduction du courant inverse ($J(-5\text{ V}) = 2,4 \times 10^{-2}\text{ A/cm}^2$) qui peut être associée à une diminution du dopage effectif dans ce type de diode. Les rendements externes à $1,55\ \mu\text{m}$ de ces deux dispositifs sont voisins de 0,27. 3) Les premiers dispositifs planar diffusés Zn sont de moins bonne qualité en relation probable avec des fronts de diffusion mal définis en bord de fenêtre. L'obtention d'un dispositif avalanche performant ($\text{NEP} = 8,4 \times 10^{-12}\text{ W}/\sqrt{\text{Hz}}$) à partir des jonctions épitaxiées est conditionnée à la réduction des courants de fuite de surface.

Abstract. — Three types of diodes have been fabricated from liquid phase epitaxial (LPE) $\text{Ga}_{0,96}\text{Al}_{0,04}\text{Sb}$ layers, this paper describes their photoelectrical properties. 1) In the Zn diffused p^+/n junctions, the reverse conduction before avalanche is dominated by tunnel effect ($J(-5\text{ V}) = 8.1 \times 10^{-1}\text{ A/cm}^2$). 2) In the epitaxial p/n junctions a decrease of the reverse current value is observed ($J(-5\text{ V}) = 2.4 \times 10^{-2}\text{ A/cm}^2$) and can be related to a decrease of the effective doping level in this type of diode. The external efficiency at $1.55\ \mu\text{m}$ is around 0.27 for both these devices. 3) The first diffused planar devices have exhibited a poorer quality which can be associated to diffusion defects at the window edge. An efficient avalanche device ($\text{NEP} = 8.4 \times 10^{-12}\text{ W}/\sqrt{\text{Hz}}$) can be expected from LPE grown junctions by reducing surface leakage currents.

Introduction.

Les antimoniures de gallium et d'aluminium (GaAlSb) présentent un intérêt pour l'obtention de photodétecteurs adaptés au minimum d'absorption des fibres optiques ($1,55\ \mu\text{m}$). Par la modification de la concentration en aluminium il est possible d'obtenir un gap direct de 0,73 à 0,9 eV [1]. Au voisinage de 0,8 eV, le désaccord de maille avec GaSb est faible ($\Delta a/a = 10^{-4}$) et peut être encore réduit par l'introduction d'arsenic. Enfin dans ce domaine de concentration, le rapport des coefficients d'ionisation des trous et des électrons est élevé ($\beta/\alpha > 10$) [2], ce qui rend ces composés intéressants pour la réalisation de dispositifs à avalanche.

Dans cette présentation nous donnons les principaux résultats que nous avons obtenus sur trois types de dispositifs élaborés à partir de couches déposées

par Epitaxie en Phase Liquide (EPL) sur substrat GaSb : 1) diode mesa Zn, 2) diode mesa épitaxiée, 3) diode planar diffusée Zn (Fig. 1).

1. Diode mesa diffusée Zn.

1.1 RÉALISATION. — La couche de $\text{Ga}_{0,96}\text{Al}_{0,04}\text{Sb}$ de type n dopée Te est déposée par épitaxie à 450°C sur un substrat $\text{n}^+ \text{GaSb}$ [3]; après une saturation de 3°C , on impose une vitesse de refroidissement de $0,4^\circ\text{C/min}$. La diffusion de Zn est réalisée à 510°C en ampoule scellée à partir d'une source $\text{Zn} + \text{Ga} + \text{Sb}$ afin d'obtenir une couche p^+ d'environ $0,5\ \mu\text{m}$ d'épaisseur. Les diodes mesa (Figs. 1a et b) ($\phi = 560\ \mu\text{m}$) sont réalisées par photolithographie. Le contact arrière est obtenu par recuit d'une couche évaporée de l'eutectique Au-Ge , le contact avant

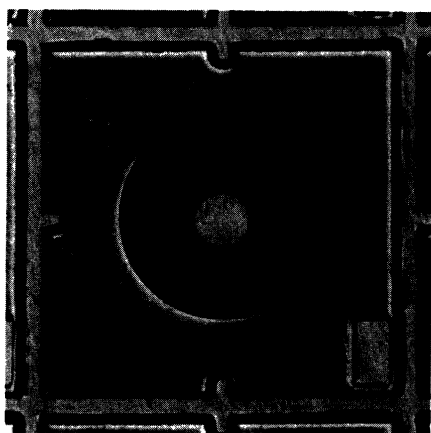
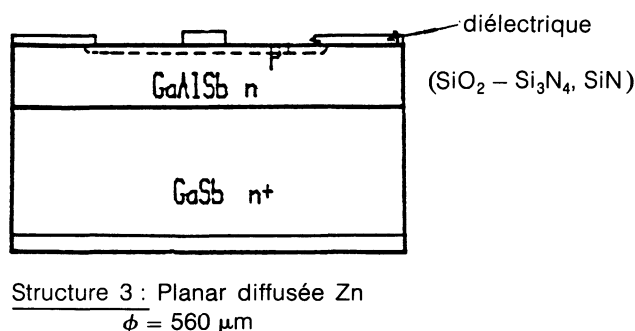
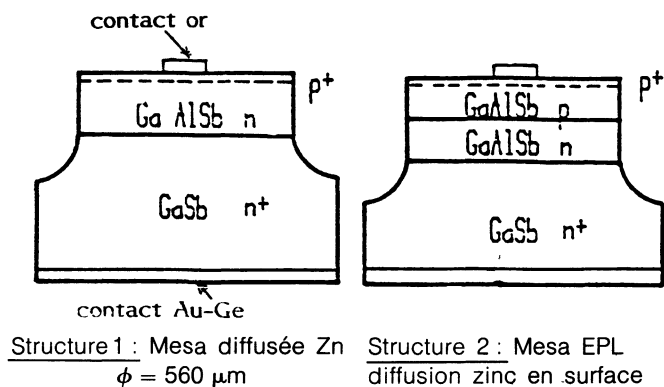


Fig. 1. — a) Coupe des différents dispositifs étudiés. b) Photographie d'un dispositif mesa ($\phi_{\text{mesa}} = 560 \mu\text{m}$).

[a) Structure of the different studied devices. b) Mesa device photograph ($\phi_{\text{mesa}} = 560 \mu\text{m}$).]

central ($\phi = 150 \mu\text{m}$) est constitué par de l'or évaporé non recuit.

1.2 CARACTÉRISTIQUES I - V . — Les jonctions ainsi obtenues sont abruptes ($1/C^2 = f(V)$ linéaire). Les dopages des couches n déduits des mesures de capacités C des jonctions varient de 1 à $7 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$. Les figures 2a et 2b présentent l'allure des caractéristiques de ces dispositifs. En polarisa-

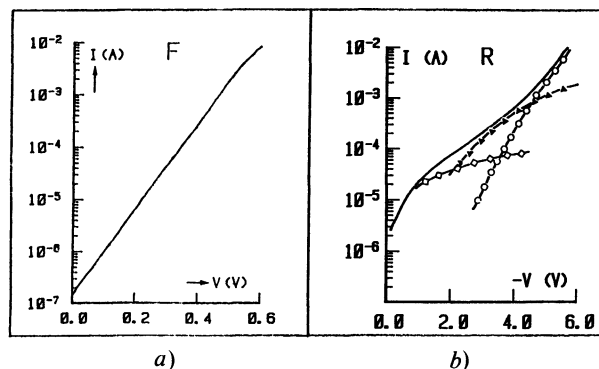


Fig. 2. — Caractéristiques I - V d'une diode mesa diffusée Zn à 300 K. a) directe, b) inverse ; $\diamond$: I_{sh} , $\blacktriangle$: I_{tt} , $\circ$: I_{tbb} .

[300 K I - V characteristics of a Zn diffused mesa diode. a) forward, b) reverse ; $\diamond$: I_{sh} , $\blacktriangle$: I_{tt} , $\circ$: I_{tbb} .]

tion directe, la conduction est contrôlée par des mécanismes de génération recombinaison, avec un coefficient d'idéalité de 2 et une densité de courant préexponentiel de $2,9 \times 10^{-4} \text{ A/cm}^2$.

En inverse les densités de courants relevées à -1 V et -5 V sont de 2×10^{-2} et $8,1 \times 10^{-1} \text{ A/cm}^2$. La figure 2b montre que le courant inverse peut être résolu en trois composantes :

- un courant shunt I_{sh} dans une résistance $R_{\text{sh}} = 5 \times 10^4 \Omega$;
- un courant tunnel assisté par piège I_{tt} (énergie de piège : 200 meV) ;
- un courant très voisin du courant tunnel bande I_{tbb} calculé avec les paramètres suivants : $E_g = 800 \text{ meV}$, $N_D = 8 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$, la contribution de la conduction à la périphérie de la mesa n'a pu être évaluée.

1.3 RÉPONSE SPECTRALE. — La figure 3 compare une réponse spectrale expérimentale à celle calculée

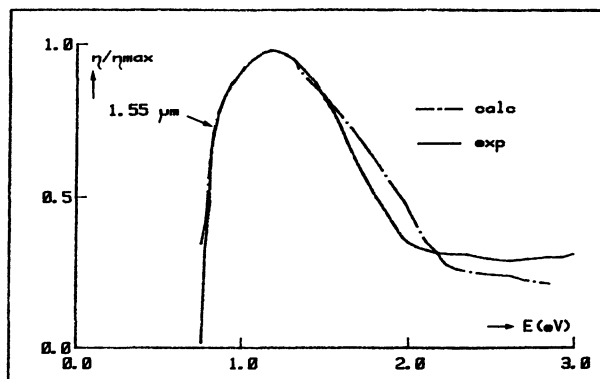


Fig. 3. — Réponses spectrales mesurées et calculées — jonction diffusée Zn, $x_j = 0,5 \mu\text{m}$.

[Measured and calculated spectral responses of a Zn diffused junction, $x_j = 0.5 \mu\text{m}$.]

Tableau I. — Paramètres photoélectriques des jonctions diffusées.

[Photoelectrical parameters of Zn diffused junctions.]

L_n (μm)	L_p (μm)	z_n	N_D (cm^{-3})	x_j (μm)
1,5	0,8	15	7×10^{16}	0,5

où L_n, L_p sont les longueurs de diffusions
 z_n est la vitesse de recombinaison réduite
($z_n = s_n L_n / D_n$).

avec les valeurs portées dans le tableau I à partir du modèle simple de jonction abrupte à couches p et n homogènes [4]. La longueur de diffusion des trous voisine de $1\text{ }\mu\text{m}$ a été déjà observée par S. De Anda dans des couches de $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{Sb}$, $x \sim 0,15$. Le rendement estimé à $1,55\text{ }\mu\text{m}$ est de 0,26 ($\alpha = 3 \times 10^3\text{ cm}^{-1}$).

2. Diode mesa épitaxiée.

2.1 RÉALISATION. — Sur un substrat de GaSb n^+ on dépose successivement à $450\text{ }^\circ\text{C}$ une couche n de $\text{Ga}_{0,96}\text{Al}_{0,04}\text{Sb}$ dopée Te et une couche p non intentionnellement dopée de même composition. Le taux de sursaturation pour le 1^{er} dépôt est $\Delta T_1 \simeq 3\text{ }^\circ\text{C}$, la vitesse de refroidissement est $0,4\text{ }^\circ\text{C/min}$. Pour le second dépôt ΔT_2 est de 4 à $9\text{ }^\circ\text{C}$ selon l'épaisseur de la 1^{re} couche, la vitesse de refroidissement est gardée constante. L'aspect des structures obtenues est présenté sur la figure 4 (image en microscopie électronique à balayage d'un

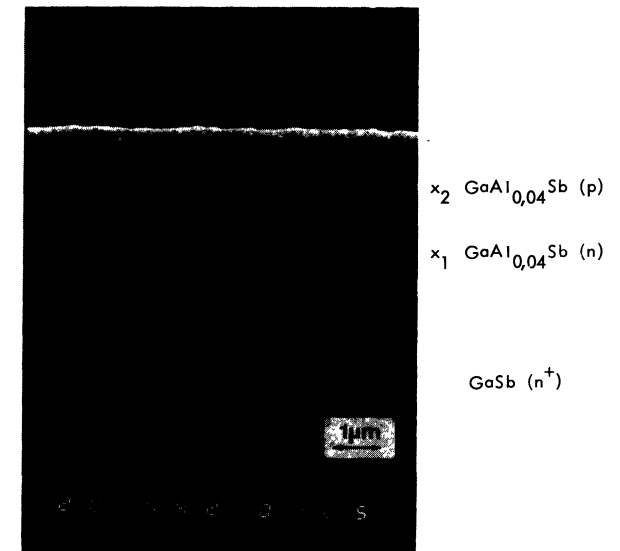


Fig. 4. — Image en microscopie électronique à balayage d'une jonction épitaxiée.

[Scanning electron microscopy pattern of an epitaxial junction.]

plan de clivage après révélation chimique). Les épaisseurs des couches dépendent des paramètres de croissance, la figure 4 correspond aux paramètres suivants $\Delta T_2 = 4,4\text{ }^\circ\text{C}$, $x_1 = 1,6\text{ }\mu\text{m}$, $x_2 = 1,4\text{ }\mu\text{m}$.

Pour assurer une meilleure collecte, une fine couche p^+ est obtenue par diffusion de Zn (1 h à $510\text{ }^\circ\text{C}$) dans la couche frontale. La technologie mesa a été décrite précédemment.

2.2 CARACTÉRISTIQUES I-V. — Les mesures de C-V effectuées, sans préciser la localisation de la zone de charge d'espace, permettent de déduire la concen-

tration équivalente $N_B = \frac{N_A N_D}{N_A + N_D}$, N_B varie de 3 à

$10 \times 10^{15}\text{ cm}^{-3}$ selon les couches. Les caractéristiques I-V à 300 K sont représentées sur les figures 5a et b. En direct le coefficient d'idéalité est de 1,6 et la densité de courant préexponentiel est $4,5 \times 10^{-5}\text{ A/cm}^2$. En inverse à -1 V et -5 V les densités de courant sont respectivement $2,4 \times 10^{-2}$ et $4 \times 10^{-2}\text{ A/cm}^2$. Une composante de génération-recombinaison I_{G-R} domine la conduction dans la gamme $-1, -5\text{ V}$ ($\tau_{G-R} = 4,5 \times 10^{-10}\text{ s}$); au-delà apparaît une composante correspondant à un effet tunnel assisté par piège d'énergie 155 meV. Le courant tunnel bande à bande est négligeable dans ce domaine de polarisation.

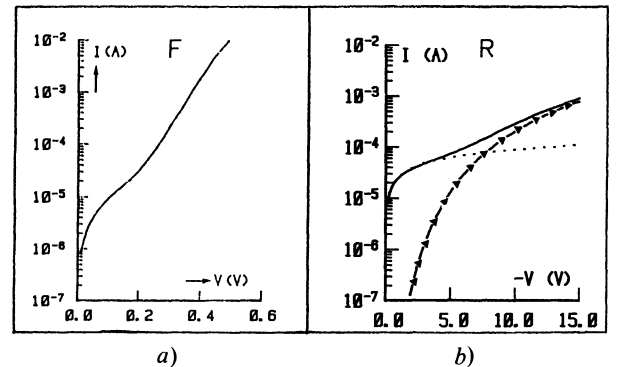


Fig. 5. — Caractéristiques I-V d'une diode mesa épitaxiée à 300 K. a) directe, b) inverse ; ... : I_{G-R} , $\blacktriangle$: I_{tt} .

[300 K I-V characteristics of an epitaxial mesa diode. a) forward, b) reverse ; ... I_{G-R} , $\blacktriangle$: I_{tt} .]

2.3 RÉPONSE SPECTRALE. — La figure 6 montre une réponse spectrale expérimentale et celle calculée avec les paramètres du tableau II. La comparaison avec le tableau I montre que la longueur de diffusion $L_n = 5\text{ }\mu\text{m}$ dans la couche p réalisée par épitaxie est supérieure à celle déterminée dans la couche p^+ réalisée par diffusion, les vitesses de recombinaison superficielles déduites de la relation $z_n = \frac{s_n L_n}{D_n}$

sont voisines de $5 \times 10^5\text{ cm/s}$ sur la couche épitaxiée, $2 \times 10^6\text{ cm/s}$ sur la couche diffusée. On obtient un

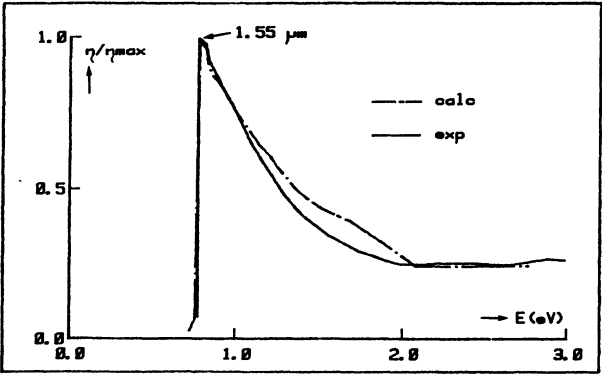


Fig. 6. — Réponses spectrales mesurée et calculée — jonction épitaxiée $x_j = 3,5\text{ }\mu\text{m}$.
[Measured and calculated spectral responses of an epitaxial junction, $x_j = 3.5\text{ }\mu\text{m}$.]

Tableau II. — Paramètres photoélectriques des jonctions épitaxiées.
[Photoelectrical parameters of epitaxial junctions.]

L_n (μm)	L_p (μm)	z_n	N_B (cm^{-3})	x_j (μm)
5	1	10	$7,5 \times 10^{15}$	3,5

rendement de 0,27 à $1,55\text{ }\mu\text{m}$ malgré une profondeur de jonction importante, ceci étant dû à la valeur élevée de la longueur de diffusion L_n dans la couche p naturelle.

3. Diode planar diffusée Zn.

La jonction est obtenue par diffusion de Zn (méthode décrite au paragraphe 1) à travers une fenêtre circulaire ($\phi = 560\text{ }\mu\text{m}$) définie par photolithographie dans le diélectrique (SiO_2 PECVD ; Si_3N_4 PECVD ⁽¹⁾). L'ouverture de la fenêtre est réalisée par voie humide. La figure 7 présente l'image obtenue en microscopie électronique à balayage d'une zone du bord de la fenêtre de diffusion. Les contacts avant et arrière sont réalisés comme précédemment. Les caractéristiques I - V sont dominées par un shunt de faible valeur. Ceci peut être associé à une interface diélectrique/GaAlSb

⁽¹⁾ Le dépôt de SiO_2 a été réalisé au C.N.E.T. (Bagneux), celui de Si_3N_4 par la Société Sfernice (Nice). P.E.C.V.D. : Dépôt en Phase Vapeur Activé par Plasma.

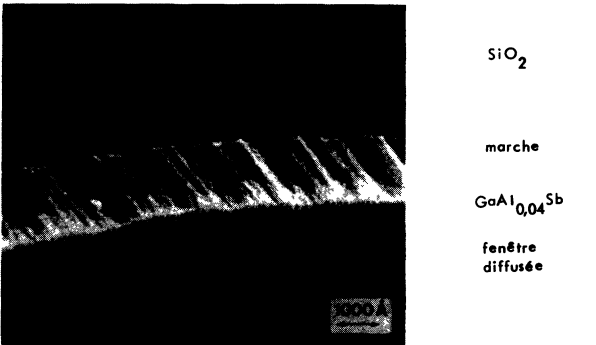


Fig. 7. — Aspect en microscopie électronique à balayage du bord de la fenêtre de diffusion ouverte dans la couche de diélectrique d'épaisseur $0,2\text{ }\mu\text{m}$.
[Diffusion window edge in a $0.2\text{ }\mu\text{m}$ thick dielectric layer. Scanning electron microscopy picture.]

défectueuse, ou à une mauvaise définition du front de diffusion en bord de fenêtre.

Conclusion.

A partir des valeurs de β/α données par O. Hildebrand *et al.* [2] nous avons calculé les puissances équivalentes de bruit attendues (NEP) des deux types de dispositifs (jonctions diffusée et épitaxiée) en régime d'avalanche. Pour la jonction diffusée ($N_D = 7 \times 10^{16}\text{ cm}^{-3}$), $\text{NEP} = 8,7 \times 10^{-11}\text{ W}/\sqrt{\text{Hz}}$ pour un coefficient de multiplication $M = 7$ ($V = -5\text{ V}$) ; pour la jonction épitaxiée ($N_B = 7,5 \times 10^{15}\text{ cm}^{-3}$, $\text{NEP} = 8,4 \times 10^{-12}\text{ W}/\sqrt{\text{Hz}}$ pour $M = 12$ ($V = -36\text{ V}$)). Ces estimations mettent en évidence l'amélioration apportée par la réalisation de dispositifs à jonction épitaxiée. Ces calculs ont été faits pour des mesas de diamètre inférieur à celui des diodes étudiées ($\phi_{\text{mesa}} = 150\text{ }\mu\text{m}$) en vue de leur utilisation pour la photodétection de signaux transmis par fibre optique. Expérimentalement, la présence de courants excédentaires et d'un bruit en $1/f$ associé n'a pas permis de comparer calcul et expérience. En l'absence des courants de fuite et du bruit basse fréquence, les jonctions épitaxiées devraient conduire à d'intéressants dispositifs avalanche.

La technologie planar que nous avons initiée nécessite une optimisation (choix du diélectrique et du type de dépôt) afin de réduire les effets des bords perturbés de la fenêtre de diffusion.

Bibliographie

[1] ALIBERT, C., JOULLIÉ, A., JOULLIÉ, A. M., ANCE, C., *Phys. Rev. B* **27** (1983) 4946.

[2] HILDEBRAND, O., KUEBART, W., PILKUHN, M. H., *Appl. Phys. Lett.* **37** (1980) 801.

[3] LUQUET, H., GOUSKOV, L., PEROTIN, M., JEAN, A., RJEJ, A., ZAROURI, T., BOUGNOT, G., *J. Appl. Phys.* **60** (1986) 3582.

[4] LAUGIER, A., ROGER, J. A., *Les photopiles solaires* (Ed. Technique et Documentation, Paris) 1981.

[5] DE ANDA, S., Thèse de Docteur Ingénieur, Université Pierre et Marie Curie, Paris 1982.