Caractérisation en bruit des photodiodes P.I.N. Hg_{1-x}Cdx Te à $\lambda = 1,3 \mu\text{m}$

B. Orsal, R. Alabédra, C. Maille, C. Boisrobert, D. Morvan, J. Meslage, G. Pichard

► To cite this version:

B. Orsal, R. Alabédra, C. Maille, C. Boisrobert, D. Morvan, et al.. Caractérisation en bruit des photodiodes P.I.N. Hg_{1-x}Cdx Te à $\lambda = 1,3 \mu\text{m}$. *Revue de Physique Appliquée*, 1984, 19 (2), pp.63-67. 10.1051/rphysap:0198400190206300 . jpa-00245174

HAL Id: jpa-00245174

<https://hal.science/jpa-00245174>

Submitted on 1 Jan 1984

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
 25.20D — 42.50

Caractérisation en bruit des photodiodes P.I.N. $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ à $\lambda = 1,3 \mu\text{m}$

B. Orsal (*), R. Alabedra (*), C. Maille (*), C. Boisrobert (**), D. Morvan (**), J. Meslage (***) et G. Pichard (***)

(*) C.E.M., Université des Sciences et Techniques du Languedoc, 34060 Montpellier Cedex, France

(**) CNET-I.C.M.-TOM, B.P. 40, Lannion, 22301 Lannion, France

(***) Société Anonyme de Télécommunication, 41, rue Cantagrel, 75624 Paris, France

(Reçu le 3 juin 1983, révisé et accepté le 3 octobre 1983)

Résumé. — L'objet de ce travail est la caractérisation des photodétecteurs P.I.N. à $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ par des mesures de bruit. Ces photodétecteurs sont réalisés pour fonctionner à la longueur d'onde $\lambda = 1,3 \mu\text{m}$ pour les télécommunications par fibres optiques. On montrera pour deux générations de composants de technologie de contact différente que le bruit en $1/f$ à faible polarisation inverse à l'obscurité est dû au courant G.R. de la diode. Les valeurs de la constante empirique « α » de Hooge déterminées à partir des mesures de bruit sont comprises entre 10^{-4} et 10^{-3} , ce qui montre que les dispositifs sont homogènes et qu'il n'y a pas de différence marquée entre les 2 technologies. Par contre, l'analyse du bruit du photocourant et la détermination de la fréquence de coupure f_c entre le bruit de Grenaille et le bruit en $1/f$ montrent que la qualité des contacts des photodiodes de 2^e génération est meilleure que celle obtenue sur les diodes de 1^{re} génération.

Abstract. — The purpose of this paper is the characterization of P.I.N. $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ photodiodes at $\lambda = 1.3 \mu\text{m}$ by measurements of $1/f$ noise. The devices are manufactured for optical transmission systems at $\lambda = 1.3 \mu\text{m}$. $1/f$ noise measurements are presented for two generations of photodiodes of different contact technology. At obscurity the current is determined by generation-recombination (G.R.) at low reverse biased. The $1/f$ noise is interpreted by Kleinpenning's model. The values of Hooge's constant deduced of noise measurements are comprised between 10^{-4} and 10^{-3} . Those results show that devices are homogeneous and there is no difference between the two technologies. On the other hand, the noise of photocurrent and the values of the corner frequency f_c between of white noise and $1/f$ noise show that the quality of contacts of second generation devices is better than the first generation.

1. Introduction.

Le problème des photodétecteurs à avalanche à la longueur d'onde $\lambda = 1,3 \mu\text{m}$ pour les télécommunications par fibres optiques est lié d'une part au courant d'obscurité et d'autre part au processus de multiplication des porteurs dans la région de fort champ électrique. Les photodétecteurs à avalanche élaborés dans le germanium présentent un bruit de multiplication important, car en effet [1] le coefficient β d'ionisation des trous est à peine deux fois plus grand que celui α des électrons. Par contre, dans un matériau tel que $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$, on a un rapport $k = \beta/\alpha$ de l'ordre de 10 pour $x \simeq 0,73$ [2, 3].

La fabrication d'une structure à avalanche [3] dans ce type de matériau s'avère délicate. Aussi la S.A.T. a réalisé [4] une photodiode P.I.N. comme composant intermédiaire pour la mise au point d'un photodétecteur à avalanche. La caractérisation électrique que nous présentons porte sur des composants dits de

première génération et de seconde génération. Les caractéristiques au premier ordre qui sont les courbes $I = f(V)$ à l'obscurité et sous éclaircissement ainsi que les $C = f(V)$ sont à peu près identiques bien qu'entre ces deux générations de composants la technologie des contacts ait changée. Les mesures au second ordre, c'est-à-dire les mesures de bruit sous éclaircissement montrent que la fréquence de coupure f_c qui sépare le bruit de grenaille $2qI$ de celui en $1/f$ est plus basse pour les composants de deuxième génération indiquant par là même l'amélioration de la technologie des contacts.

2. Description du dispositif.

Les photodiodes P.I.N. sont fabriquées par la S.A.T. Leurs principales caractéristiques sont [4] :

- courant d'obscurité à -10 V : 1 nA
- sensibilité à $\lambda = 1,3 \mu\text{m}$: 0,8 A/W

Fig. 1. — Structure de la photodiode HgCdTe.

[HgCdTe photodiode structure.]

- bande passante : 850 MHz
- diamètre de la zone active : 80 µm
- domaine de sensibilité spectrale : 0,9 à 1,3 µm
- tension de fonctionnement V_p : - 10 V
- capacité totale à V_p : 1,2 pF.

La structure de ces photodiodes P.I.N. est représentée sur la figure 1. Cette structure [4] a été déduite des mesures de capacités en fonction de la polarisation, de la sensibilité en fonction de la longueur d'onde et de la polarisation, et du courant induit par faisceau d'électrons.

Fig. 2. — Caractéristiques $I = f(V)$ directes à l'obscurité.[Forward characteristics I versus V at obscurity.]

3. Mesures au premier ordre.

Les mesures de bruit n'ont un sens que si les propriétés au premier ordre sont stables et bien connues. Aussi la figure 2 représente les caractéristiques $I = f(V)$ en direct à l'obscurité des diodes O1 (1^{re} génération) et O2 (2^e génération). De l'analyse de ces courbes en semi-log on constate que ce sont des phénomènes de G.R. dans la zone de charge d'espace qui sont prépondérants. En effet, le facteur d'idéalité n est de 1,55 pour la diode O1 et de 1,6 pour la diode O2. Les résistances séries déduites de ces deux caractéristiques sont respectivement de l'ordre de 300 Ω et de 100 Ω. La relation donnant la valeur de la composante du courant due à la G.R. dans la zone de charge d'espace [7] est :

$$I_{GR} = \frac{qWAn_i}{\tau} \quad (1)$$

- où q est la charge de l'électron : $1,6 \times 10^{-19}$ C.
- W la longueur de la zone de charge d'espace déduite du $C = f(V)$: 0,8 µm.
- A surface de la diode : $1,32 \times 10^{-4}$ cm².
- n_i densité intrinsèque à $T = 300$ K pour un $E_g = 0,94$ eV : $4,3 \times 10^{10}$ cm⁻³.
- τ durée de vie des porteurs minoritaires : $1,2 \times 10^{-7}$ s.

La valeur calculée est de $3,1 \times 10^{-10}$ A, qui est en bon accord avec les valeurs expérimentales déduites par extrapolation des caractéristiques directes à 0 V qui sont comprises entre $2,5 \times 10^{-10}$ A et $3,2 \times 10^{-10}$ A. Egalement les valeurs de cette composante G.R. déduites par extrapolation des carac-

téristiques inverses $I = f(V)$ à quelques centaines de millivolts (Fig. 3), sont comprises entre 10^{-10} A et 3×10^{-10} A. C'est l'analyse de cette composante du courant G.R. et de la caractéristique inverse $I = f(V)$ pour des tensions de polarisation telles que $-qV/kT < 6$, c'est-à-dire pour des tensions comprises entre 0 et 250 mV, qui va nous permettre d'étudier le bruit en $1/f$ à l'obscurité d'après le modèle de Kleinpenning [5]. De ce modèle, on calculera la constante « α » de Hooge [6] décrivant le bruit en $1/f$. Le résultat principal de ce modèle empirique est que la qualité du composant est d'autant plus satisfaisante que « α » est plus petit. On a reporté sur la figure 4 respectivement les caractéristiques inverses à l'obscurité et sous éclairciment, jusqu'à une polarisation de 30 V, des photodiodes 01 et 02. On remarquera, qu'à

Fig. 3. — Caractéristiques inverses $I = f(V)$ à l'obscurité.
[Reverse characteristics I versus V at obscurity.]

Fig. 4. — Caractéristiques inverses $I = f(V)$ à l'obscurité et sous éclairciment.
[Reverse characteristics $I = f(V)$ under obscurity and illumination conditions.]

la tension nominale d'utilisation de 10 V, le rapport entre le photocourant et le courant d'obscurité est de l'ordre de 70 et que les caractéristiques sont pour les deux composants très voisines l'une de l'autre.

4. Bruit en $1/f$ des diodes polarisées en inverse à l'obscurité [5].

Dans le calcul du bruit en $1/f$ nous supposons que le courant dans la jonction est essentiellement dû à la G.R. tant que $-qV/kT < 6$ comme semble l'indiquer l'étude au premier ordre. Dans ce cas, la densité spectrale $S(f)$ est donnée par la relation [5]

$$S_i(f) = \frac{2/3 \alpha I^2}{f \cdot A \cdot W \cdot n_i \cdot e \cdot \frac{qV}{2kT}} \tag{2}$$

où I est le courant de polarisation de la diode. De cette relation et des mesures de bruit on tire la valeur de α qui est un critère d'homogénéité du dispositif en considérant une durée de vie des porteurs τ de l'ordre de $1,2 \times 10^{-7}$ s. La valeur de α est donnée par :

$$\alpha = \frac{S_i(f) \cdot f \cdot A \cdot W \cdot n_i \cdot e \cdot \frac{qV}{kT}}{\frac{2}{3} I^2} \tag{3}$$

On a reporté sur la figure 5, pour une fréquence de 3 Hz, la variation de $S_i(f)$ en fonction du courant de polarisation des diodes. On constate que $S_i(f)$ varie

Fig. 5. — Variation de $S_i(f)$ en fonction du courant d'obscurité.
[$S_i(f)$ versus obscurity current.]

bien en puissance de 2 du courant. On tire de ces données expérimentales des valeurs de α comprises entre 10^{-4} et 10^{-3} . Ces valeurs sont tout à fait comparables à celles trouvées par Kleinpenning [5], elles montrent que les diodes ont une bonne homogénéité quelle que soit leur technologie. La figure 6 représente les spectres $S_i(f)$ en fréquence des diodes 01 et 02 à l'obscurité. On constate que les fréquences de coupure sont de l'ordre de 10^2 à 10^3 Hz. On retrouve dans la partie blanche du spectre la valeur du bruit de grenaille $2qI_0$ du courant de polarisation.

5. Bruit en $1/f$ des photodiodes sous éclaircissement à $\lambda = 1,3 \mu\text{m}$.

A l'éclaircissement, nous supposons en première approximation qu'il n'y a pas de corrélation entre le courant d'obscurité et le photocourant. Dans le cas des deux photodiodes la valeur du photocourant est de $1,2 \times 10^{-7}$ A c'est-à-dire 70 fois plus grand que le courant d'obscurité à la tension nominale de -10 V. La figure 7 représente les spectres $S_i(f)$ des deux diodes. On constate que l'on retrouve également dans

Fig. 6. — Spectre en fréquence à l'obscurité.

[Noise spectra at obscurity.]

Fig. 7. — Spectre en fréquence à $\lambda = 1,3 \mu\text{m}$.

[Noise spectra at $\lambda = 1,3 \mu\text{m}$.]

la partie blanche du spectre le bruit de grenaille $2qI$ du courant total. Par contre, la fréquence de coupure f_c déterminée expérimentalement est de 100 Hz pour la diode 02 et de 1,2 kHz pour la diode 01. Ces résultats expérimentaux sont équivalents à ceux de Tobin [7]. On interprète ce comportement différent des spectres en $1/f$ du photocourant comme étant l'influence de la qualité des contacts. En effet, le bruit en $1/f$ lié au courant G.R. ($I < 1,5 \times 10^{-10}$ A) selon le modèle de Kleinpenning [5] est prépondérant devant celui des contacts. Par contre, à l'éclairement, compte tenu de la valeur du photocourant ($1,2 \times 10^{-7}$ A) l'influence des contacts n'est plus négligeable. Si le contact est bon, il n'introduit en principe que très peu de bruit en $1/f$, ce qui est le cas de la photodiode 02 qui pré-

sente une fréquence de coupure f_c de l'ordre de 100 Hz. C'est le composant de deuxième génération dont la technologie des contacts a été changée par rapport à la première.

6. Conclusion.

Le résultat essentiel de cette caractérisation par des mesures de bruit basses fréquences est que la qualité des photodiodes P.I.N. est suffisante pour envisager de les transformer en photodétecteurs à avalanche qui font appel à des courants plus importants compte tenu du gain interne associé au processus de l'ionisation par impact.

Bibliographie

- [1] ALABEDRA, R., ORSAL, B., DECKER, M., PEREMARTI, C., *Bruit dans les photodétecteurs à avalanche au germanium à $\lambda = 1,3 \mu\text{m}$* . OPTO 82, ESI Publications, pp. 134-137, novembre 1982.
- [2] VERIE, C., RAYMOND, F., BESSON, J., NGUYEN DUY, T., *Bandgap-Spin orbit splitting resonance effects in $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ alloys*, Proc. Int. Conf. on II-VI compounds Durham, April 1982.
- [3] MESLAGE, J., PICHARD, G., FRAGON, M., ROGER, M., NGUYEN DUY, T., BOISROBERT, C., MORVAN, D., *CdHgTe ($1,3 \mu\text{m}$ - $1,55 \mu\text{m}$) avalanche photodiode*, Annales des Télécom. (à paraître).
- [4] PICHARD, G., MESLAGE, J., FRAGON, P., RAYMOND, F., Annales des Télécom. (à paraître).
- [5] KLEINPENNING, T. G. M., *On $1/f$ noise in reverse Biased P-N junction diodes*, 7th Int. Conf. on noise in Physical Systems, Montpellier, May 1983.
- [6] HOOGE, F. N., KLEINPENNING, T. G. M., VANDAMME, L. K. J., *Experimental Studies on $1/f$ noise*, Rep. Prog. Phys., pp. 479-532, **44** (1981).
- [7] TOBIN, S. P., IWASA, S., TREDWELL, T. J., *$1/f$ noise in HgCdTe photodiodes*, IEEE ED **27**, 43-48 (1980).