



HAL
open science

Niveaux profonds dans le GaAs implanté bore

B. Toulouse, P.N. Favennec

► **To cite this version:**

B. Toulouse, P.N. Favennec. Niveaux profonds dans le GaAs implanté bore. *Revue de Physique Appliquée*, 1980, 15 (4), pp.869-874. 10.1051/rphysap:01980001504086900 . jpa-00244798

HAL Id: jpa-00244798

<https://hal.science/jpa-00244798>

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
 71.55F — 61.70T

Niveaux profonds dans le GaAs implanté bore (*)

B. Toulouse (**) et P. N. Favennec

Centre National d'Etudes des Télécommunications
 (CPM/PMT), 22301 Lannion Cedex, France

Résumé. — Nous avons étudié le comportement du bore implanté dans des couches n obtenues par implantation de sélénium (épaisseur 0,25 μm) dans des substrats semi-isolants de GaAs dopés Chrome. Les échantillons présentant une forte résistivité, nous avons utilisé une méthode de courant transitoire stimulé optiquement. Les courants transitoires obtenus sont analysés en fonction de la température comme en D.L.T.S. Une comparaison entre les échantillons implantés bore et non implantés montre que l'implantation de bore a pour effet de faire apparaître des centres profonds. L'étude en fonction de la concentration de bore ne montre pas de niveaux liés au bore, mais un niveau généralement attribué à un excès d'Arсениc diminue quand la concentration de bore augmente. Une discussion de ces résultats est présentée dans ce papier.

Abstract. — Boron implanted behaviour has been studied in n Se implanted layers (thickness 0.25 μm) in semi-insulating GaAs substrated (Cr doped). As our samples show high resistivity we have used an optically stimulated transient current method. The transient currents are studied as function of temperature as in D.L.T.S. Some levels appear with boron implantation. The transient currents as function of boron concentration study does not show levels connected with boron. On the other hand a level, generally attributed to As excess, decreases when boron concentration increases. We discuss those results in this paper.

Introduction. — Depuis quelques années de nombreux travaux ont été menés sur l'implantation d'ions dans le GaAs, mais peu ont eu lieu avec des éléments du groupe III et V. Dans ce travail, nous avons étudié le comportement du bore qui est un élément du groupe III. Il a été observé par différents auteurs [1, 2] que pour des faibles concentrations de bore implanté, les propriétés électriques initiales n'étaient pas retrouvées après recuit. Une étude physico-chimique préalable [3] nous a permis de déterminer les principaux paramètres de l'implantation du bore dans le GaAs et a montré que pour des concentrations élevées de bore ($10^{19} \text{ }^{11}\text{B cm}^{-3}$) le bore ne se plaçait pas après recuit à 900 °C sur un site privilégié du réseau cristallin. Des mesures résistives [4], en fonction de la concentration de bore implantée et de la température de recuit, ont montré que après des recuits à 900 °C et pour des concentrations plus faibles que $10^{17} \text{ }^{11}\text{B cm}^{-3}$ l'implantation de bore peut induire une forte résistivité. Cette forte résistivité n'est pas liée aux défauts d'implantation qui sont recuits à 550 °C. Ce comportement varie en fonction de la concentration de bore implanté, mais aussi en fonction de la concentration

initiale en porteurs. En effet, plus l'échantillon est dopé initialement, moins la concentration de bore nécessaire pour atteindre la résistivité maximale est élevée [4]. Après des recuits à 900 °C et pour des concentrations plus grandes que $10^{17} \text{ }^{11}\text{B cm}^{-3}$, la résistivité de tous les échantillons est à peu près égale à la résistivité avant implantation.

La résistivité étant fonction de la concentration de bore implanté et non liée aux défauts d'implantation, nous avons cherché à déterminer les centres profonds induits par l'implantation de bore.

1. Préparation des échantillons. — Les échantillons de GaAs étudiés étaient des couches de type n sur des substrats semi-isolants dopés chrome et orientés $\langle 100 \rangle$. La couche de type n était obtenue par implantation de sélénium [5] d'épaisseur environ 0,25 μm (échantillon B : $n = 5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, $N_{c_r} = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$; échantillon C : $n = 2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$; $N_{c_r} = 3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$).

Les implantations de bore étaient réalisées à la température ambiante sur les échantillons désalignés de 7° par rapport à l'axe $\langle 100 \rangle$ de façon à éviter le phénomène de canalisation. Les concentrations de bore implanté variaient entre $10^{14} \text{ }^{11}\text{B cm}^{-3}$ et $3 \times 10^{17} \text{ }^{11}\text{B cm}^{-3}$. La procédure d'implantation est représentée sur la figure 1. Le bore était implanté à travers un masque afin d'obtenir une zone B implantée

(*) Conférence présentée au Congrès de la Société Française de Physique (Toulouse).

(**) Adresse actuelle : INSA, 35031 Rennes Cedex, France.

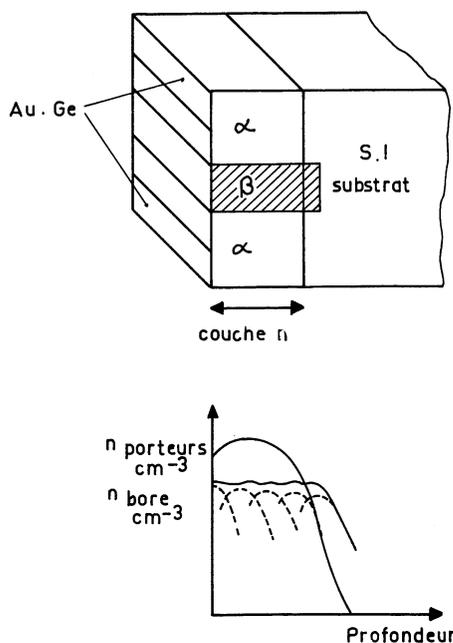


Fig. 1. — Réalisation des échantillons. La couche n région α était obtenue par implantation de sélénium. Des multi-implantations de bore étaient réalisées dans la région β .

[Samples for measurements. The n layer region α was an Se implanted layer. Multi-implantations of boron were carried into region β .]

sur toute la largeur de la couche n . Plusieurs implantations à différentes énergies et doses étaient nécessaires pour obtenir une concentration uniforme de bore dans toute l'épaisseur de la couche n .

Des recuits isochrones de 20' étaient effectués dans un tube de quartz sous flux d'argon. Avant les recuits, les échantillons étaient recouverts d'une couche de Si_3N_4 obtenue par pulvérisation réactive afin d'éviter l'exodiffusion du gallium et de l'arsenic [6].

Des contacts ohmiques Au-Ge étaient réalisés après recuit, par évaporation dans la zone non implantée α .

2. Mesures de courants transitoires. — 2.1 PRINCIPES EXPÉRIMENTAL. — Pour les échantillons présentant une forte résistivité, nous avons déterminé les niveaux profonds par spectroscopie de courants transitoires stimulés optiquement [7]. Les mesures de capacité transitoire telles que les méthodes DLTS [8, 9, 10] ne sont pas adaptées car il est difficile d'injecter des porteurs par un moyen électrique dans un matériau très résistif. Le principe général de la méthode est le suivant : à l'aide d'une excitation lumineuse, on crée des paires électrons trous qui sont piégés par les centres profonds. Après l'extinction de l'excitation lumineuse, les pièges libèrent les porteurs avec une certaine constante de temps τ égale à $1/e_n$ pour un piège à électrons (indice p pour un trou) où e_n est le coefficient d'émission thermique du piège pour un électron (p pour un trou). Le courant transitoire résultant peut s'écrire [11] :

$$\delta i(t) = C \cdot n_T(t_0) e_n \exp(-e_n \cdot t).$$

L'analyse de ce signal se traite comme en DLTS [9] en échantillonnant le signal à des temps t_1 et t_2 . La courbe $\delta i(t_1) - \delta i(t_2)$ passe par une valeur maximale pour laquelle e_n ou $e_p = \text{Ln}(t_1/t_2)/(t_1 - t_2)$. En faisant varier les temps de mesure t_1 et t_2 , on fait varier la température pour laquelle $\delta i(t_1) - \delta i(t_2)$ passe par un maximum.

La variation de e_n en fonction de la température peut s'écrire [12] :

$$e_n = a_n \sigma_n g_n T^2 \exp(-\Delta E_n/kT)$$

avec

$$a_n = 2,28 \times 10^{20} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1} \text{ K}^{-2} \text{ pour le GaAs}$$

$$a_p = 1,7 \times 10^{21} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1} \text{ K}^{-2}$$

$\Delta E_n, \Delta E_p$ est l'énergie d'activation du centre
 σ_n, σ_p est la section efficace de capture
 g_n, g_p est le facteur de dégénérescence.

Lang et Logan [8] ont montré que la section efficace de capture variait avec la température suivant la forme :

$$\sigma_n = \sigma_{n\infty} \exp(-\Delta E_\infty/kT).$$

Mircea, Mitonneau et Vannimenus [12] ont montré que l'énergie d'activation d'un centre variait avec la température suivant la forme $\Delta E_n = \Delta E_{n0} - \alpha T$ où α dépend de la nature des défauts responsables du centre.

Finalement, le tracé de $\text{Ln}(e_n/T^2) = f(1000/T)$ nous donne des droites de pentes $\Delta E_{n\text{mes}}$ et d'ordonnée à l'origine $a_n \sigma_{n\text{mes}}$ avec

$$\Delta E_{n\text{mes}} = \Delta E_{n0} + \Delta E_\infty$$

et

$$\sigma_{n\text{mes}} = \sigma_{n\infty} g_n \exp(\alpha/k).$$

$\sigma_{n\text{mes}}$ et $\Delta E_{n\text{mes}}$ sont ce qu'on appelle la signature du piège.

Nous avons utilisé comme source lumineuse une diode laser GaAs émettant une longueur d'onde de 8840 Å, d'énergie 1,4 eV légèrement inférieure à la bande interdite. L'ensemble de la manipulation est automatisée.

— *Limitation de la méthode.* — Cette technique de courant transitoire stimulé optiquement ne permet pas de déterminer si le centre piège est accepteur ou donneur car leur contribution au courant transitoire est identique. Nous ne savons pas si nous calculons l'énergie d'activation du centre par rapport à la bande de conduction ou par rapport à la bande de valence, c'est pourquoi nous donnons dans nos résultats les deux sections efficaces de capture $\sigma_{n\text{mes}}$ et $\sigma_{p\text{mes}}$. De plus, il semble difficile, par cette méthode, d'avoir une idée précise de la concentration des pièges et nous pouvons seulement faire une étude comparative d'un niveau avec les autres niveaux présents.

3. Résultats. — Dans chaque cas, nous avons comparé nos résultats avec ceux précédemment trouvés. L'ensemble des niveaux connus pour le GaAs a fait l'objet d'une étude critique de la part de Mitonneau, Martin et Mircea dans une série de deux articles, l'un pour les pièges à électrons [13], l'autre pour les pièges à trous [14]. La nomenclature des niveaux connus que nous comparons à nos résultats est celle que ces auteurs ont utilisée.

— *Echantillon B et C avant implantation de bore.* — L'étude a été faite par des mesures DLTS capacitives après recuits à 900 °C. Aucun niveau n'a pu être détecté, ce qui nous laisse à penser que la concentration de pièges est inférieure à la limite de détection de l'appareillage c'est-à-dire $< 10^{14} \text{ cm}^{-3}$.

— *Echantillon B après implantation de bore.* — La figure 2 nous montre les spectres de courants transitoires pour les échantillons B. La figure 3 représente la variation de T^2/e_n en fonction de $1000/T$ et le tableau I nous donne les principales caractéristiques de ces niveaux.

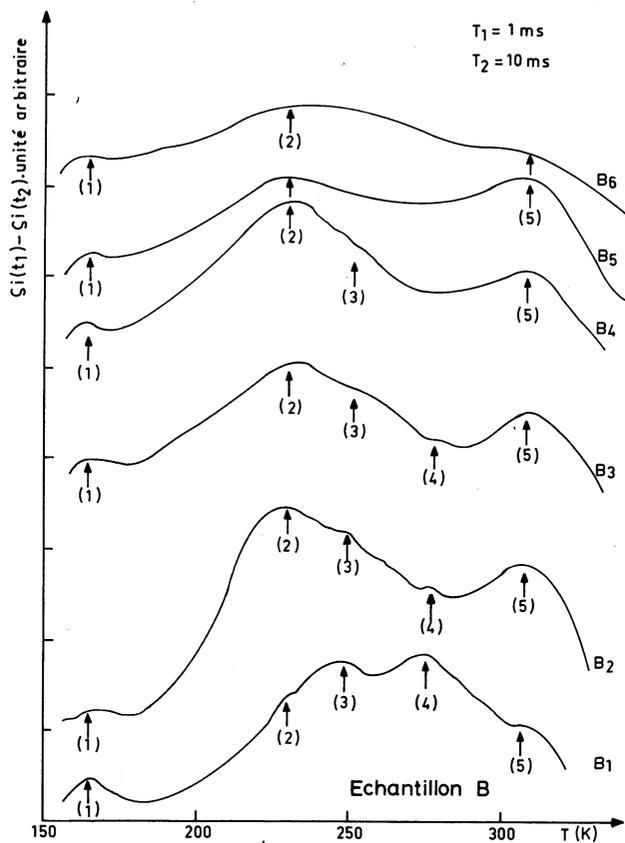


Fig. 2. — Spectre de courants transitoires pour les échantillons B.
[Transient currents spectrum for samples B.]

- $B_1(N_b = 3 \times 10^{14} \text{ B}^{11} \text{ cm}^{-3}; \rho/\rho_0 = 3 \times 10^4)$
- $B_2(N_b = 10^{15} \text{ B}^{11} \text{ cm}^{-3}; \rho/\rho_0 = 10)$
- $B_3(N_b = 3 \times 10^{15} \text{ B}^{11} \text{ cm}^{-3}; \rho/\rho_0 = 2)$
- $B_4(N_b = 10^{16} \text{ B}^{11} \text{ cm}^{-3}; \rho/\rho_0 = 3)$
- $B_5(N_b = 3 \times 10^{16} \text{ B}^{11} \text{ cm}^{-3}; \rho/\rho_0 = 3,8)$
- $B_6(N_b = 10^{17} \text{ B}^{11} \text{ cm}^{-3}; \rho/\rho_0 = 4,6)$.

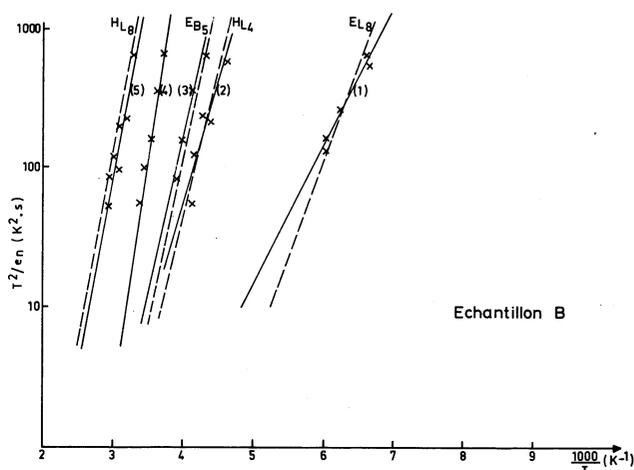


Fig. 3. — Variation de T^2/e_n en fonction de $1000/T$ pour les échantillons B.

[T^2/e_n variation as function of $1000/T$ for samples B.]

Le niveau 1, faible mais toujours présent, a été observé par Mircea et Mitonneau [16] sur des échantillons de type n. Le niveau 2 présent quelle que soit la concentration de bore a été attribué par Lang et Logan [8] à la présence du cuivre et également observé par Mitonneau, Martin et Mircea [10]. Le niveau 3, assez net sur B_1 et B_2 , a été observé par Lang *et al.* [15] sur des couches épitaxiées de type n, riches en arsenic, obtenues par jet moléculaire. Le niveau 4 prédominant sur l'échantillon B_1 présent, mais faible sur B_2 , semble disparaître quand la concentration de bore augmente. Ce niveau n'a jamais été observé et son importance

Tableau I. — *Echantillon B.*

Niveau	ΔE_{mes} (eV)	$\sigma_{n,mes}$ (cm ²)	$\sigma_{p,mes}$ (cm ²)	Niveau le + proche	ΔE_{mes} (eV)	σ_{∞} (cm ²)	Référence
1	0.26	$3,5 \times 10^{-15}$	$4,6 \times 10^{-16}$	E_{L8}	0.27	7×10^{-15} n	[16]
2	0.36	$1,5 \times 10^{-15}$	2×10^{-16}	$H_{L4}-H_{B4}$	0.42	3×10^{-15} p	[8, 10]
3	0.46	4×10^{-14}	$5,3 \times 10^{-15}$	E_{B5}	0.48	$2,6 \times 10^{-13}$ n	[15]
4	0.7	9×10^{-11}	10^{-11}				
5	0.55	10^{-14}	$1,5 \times 10^{-15}$	$H_{L8}-H_{B3}$ H_{L3}	0.52	$3,5 \times 10^{-16}$ p	[8, 14]

décroit comme la résistivité des échantillons. Le niveau 5 est présent sur tous les échantillons, mais décroît quand la concentration de bore augmente. Ce niveau est assez proche du niveau H_{L8} observé par Mitonneau, Martin et Mircea [14] sur des couches épitaxiées de type n, riches en arsenic et réalisées par jet moléculaire. Ce niveau est également proche des niveaux H_{B3} et H_{L3} généralement attribués à la présence de fer [8, 14].

— *Echantillon C après implantation de bore.* —
La figure 4 nous montre les spectres de courants

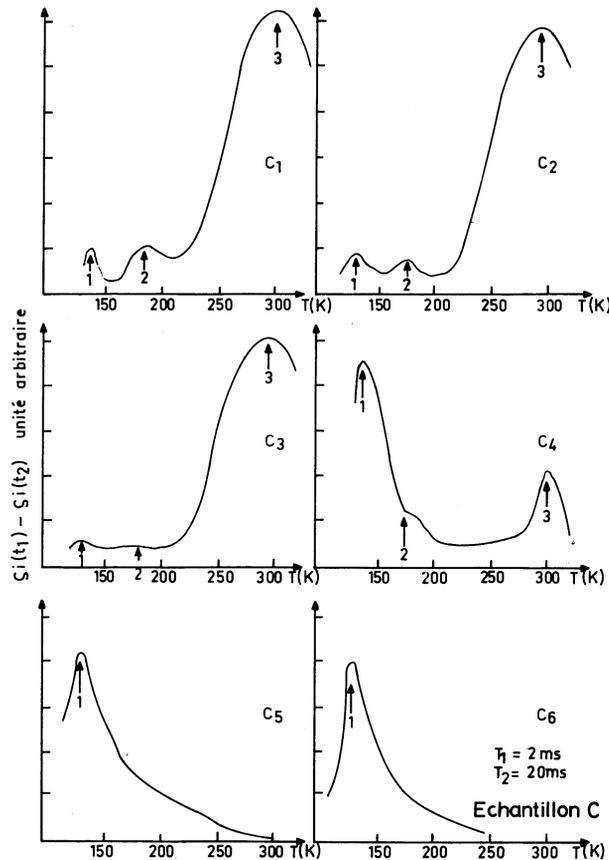


Fig. 4. — Spectre de courants transitoires pour les échantillons C.

[Transient currents spectrum for samples C.]

$$\begin{aligned} C_1(N_b &= 3 \times 10^{14} \text{ }^{11}\text{B cm}^{-3}; \rho/\rho_0 = 105) \\ C_2(N_b &= 3 \times 10^{15} \text{ }^{11}\text{B cm}^{-3}; \rho/\rho_0 = 3\,100) \\ C_3(N_b &= 10^{16} \text{ }^{11}\text{B cm}^{-3}; \rho/\rho_0 = 1\,070) \\ C_4(N_b &= 3 \times 10^{16} \text{ }^{11}\text{B cm}^{-3}; \rho/\rho_0 = 110) \\ C_5(N_b &= 10^{17} \text{ }^{11}\text{B cm}^{-3}; \rho/\rho_0 = 150) \\ C_6(N_b &= 3 \times 10^{17} \text{ }^{11}\text{B cm}^{-3}; \rho/\rho_0 = 50). \end{aligned}$$

Tableau II. — *Echantillon C.*

Niveau	ΔE_{mes} (eV)	$\sigma_{n \text{ mes}}$ (cm ²)	$\sigma_{p \text{ mes}}$ (cm ²)	Niveau le + proche	ΔE_{mes} (eV)	σ_{α} (cm ²)	Référence
1	0,22	$5,9 \times 10^{-15}$	8×10^{-16}	E_{L14}	0,22	$5,2 \times 10^{-16}$	[13]
2	0,39	$2,5 \times 10^{-12}$	$3,4 \times 10^{-13}$	E_{L6}	0,35	$1,5 \times 10^{-13}$	[13]
3	0,52	$8,3 \times 10^{-16}$	$1,1 \times 10^{-16}$	H_{B3} $H_{L8}-H_{L3}$	0,52	$3,4 \times 10^{-16}$	[8] [14]

transitoires des échantillons C. La variation de T^2/e_n en fonction de $1\,000/T$ est représentée sur la figure 5. Le tableau II nous donne les principales caractéristiques de ces niveaux. Le niveau 1, présent sur tous les échantillons, est prédominant pour les fortes concentrations de bore. Ce niveau a été observé sur du matériau massif par Martin, Mitonneau et Mircea [13]. Le niveau 2, assez faible, a également été observé par Martin, Mitonneau et Mircea [13] sur du matériau massif. Le niveau 3 prédominant pour les faibles concentrations de bore est identique au niveau 5 de l'échantillon B.

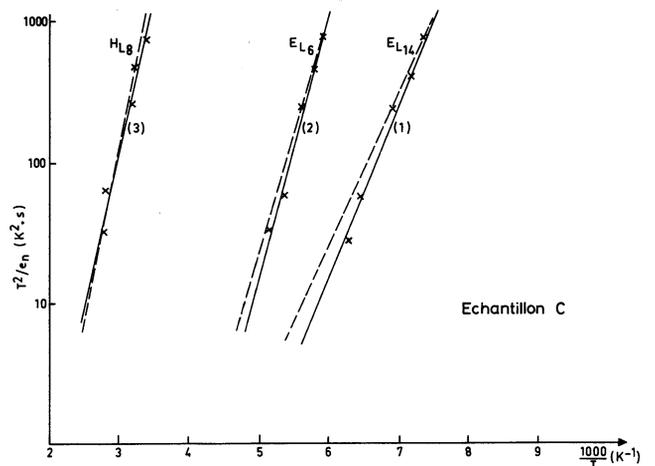


Fig. 5. — Variation de T^2/e_n en fonction de $1\,000/T$ pour les échantillons C.

[T^2/e_n variation as function of $1\,000/T$ for samples C.]

4. Discussion. — Le niveau 2 (0,36 eV) des échantillons B, qui est attribué au cuivre [8, 14], a également été observé sur les substrats semi-isolants avant l'implantation de sélénium [17]. Ce niveau semble être absent sur les échantillons C, mais pourrait être masqué par le pic du niveau 3.

— Tous les niveaux présents dans les substrats semi-isolants avant l'implantation de sélénium [17] disparaissent après l'implantation de sélénium. Le niveau attribué au cuivre est le seul niveau qui réapparaît après l'implantation de bore.

— Le niveau 4 (0,7 eV) des échantillons B est prédominant sur B_1 ($N_b = 3 \times 10^{14} \text{ }^{11}\text{B cm}^{-3}$, $\rho/\rho_0 = 3 \times 10^4$), faible sur B_2 ($N_b = 10^{15} \text{ }^{11}\text{B cm}^{-3}$, $\rho/\rho_0 = 10$), et absent sur les autres échantillons

($N_b > 10^{15} \text{ }^{11}\text{B cm}^{-3}$ $\rho \simeq \rho_0$). Il suit la variation de la résistivité en fonction de la concentration de bore et pourrait être responsable de la haute résistivité de l'échantillon B₁. Malheureusement, si ce niveau existe sur les échantillons C, il est totalement masqué par le pic du niveau 3. Aussi, nous ne pouvons pas rendre ce niveau (0,7 eV) responsable de la haute résistivité de B₁.

— Un niveau est commun aux échantillons B (niveau 5 ; 0,55 eV) et aux échantillons C (niveau 3 ; 0,52 eV). Ce niveau qui décroît quand la concentration de bore implanté est élevée a été observé sur des échantillons riches en arsenic [14] et pourrait être attribué à des lacunes de gallium. Un niveau voisin a été observé [14, 8] sur des échantillons dopés fer et attribué à la présence du fer. Ce niveau n'a pas été observé sur les substrats semi-isolants avant l'implantation de sélénium. Aussi, nous pensons que le niveau (0,52 eV) présent dans nos échantillons serait dû à un excès d'atomes en site arsenic donc à des lacunes de gallium.

— Thompson et Newman [18] ont montré par des mesures d'absorption infrarouge sur des échantillons contenant du bore qu'une partie du bore venait se placer en site gallium et que ce centre B_{Ga} était neutre électriquement. Laithwaite et Newman [19] ont montré ensuite que le bore pouvait aussi aller sur un site qui avait 4 atomes de gallium comme plus proche voisin et ne pouvait être placé que soit en site arsenic, soit en site interstitiel tétraédrique où le bore se complexerait avec un donneur. Ce centre qu'ils ont appelé B(2) agit comme un centre accepteur.

— On peut penser que pour les faibles concentrations de bore implanté, le bore vienne se mettre sur un site arsenic, ce qui entraîne un excès d'atomes en site arsenic et donc de lacunes de gallium. Ces lacunes de gallium se complexeraient avec des donneurs ($V_{\text{Ga}} \times D$) et seraient responsables du centre profond 0,52 eV de nos échantillons. Ce centre agit comme un centre de compensation identique au centre B(2) de Newman et a pour conséquence l'augmentation de la résistivité avec la concentration de bore implanté.

— Quand la concentration de bore implanté augmente la résistivité, passe par un maximum, puis décroît jusqu'à retrouver la résistivité initiale pour les hautes concentrations ($10^{17} \text{ }^{11}\text{B cm}^{-3}$). Une hypothèse serait que le bore vienne se mettre en site gallium, ce qui a pour effet de libérer le donneur. Le bore en site gallium est neutre électriquement [18], la résistivité doit donc décroître jusqu'à retrouver sa valeur initiale.

— Si nous considérons maintenant la concentration de bore nécessaire pour obtenir la résistivité maximale (tableau III), nous voyons qu'il faut pour l'échantillon C, 1 bore pour 100 donneurs et pour l'échantillon B, 1 bore pour plus de 1 000 donneurs.

Tableau III.

Echantillon	B	C
n porteurs (cm^{-3})	5×10^{17}	2×10^{17}
n bore pour ρ_{max} (cm^{-3})	$\leq 3 \times 10^{14}$	2×10^{15}
ρ_{max}/ρ_0	$\geq 2 \times 10^4$	10^4

Or, suivant l'hypothèse faite, bore en site arsenic pour les faibles concentrations de bore, on aurait au maximum un centre $V_{\text{Ga}} \times D$ par ion de bore implanté. L'effet du bore sur la résistivité devrait alors être sensible pour des concentrations de bore équivalentes à la concentration des porteurs, et pour des concentrations de bore d'autant plus grandes que l'échantillon est plus dopé. Ceci est en désaccord avec les résultats montrés dans le tableau III. Aussi, l'effet principal responsable de la haute résistivité ne semble pas être directement dû à des complexes $V_{\text{Ga}} \times D$ induits par le bore en site arsenic. Vraisemblablement, les impuretés métalliques présentes dans les échantillons doivent jouer un rôle important dans le comportement électrique des couches implantées bore : un niveau attribué au cuivre apparaît après l'implantation de bore, la présence de chrome dans les échantillons semble primordiale pour mesurer une modification des propriétés électriques du GaAs après l'implantation du bore [4]. Des études de piégeage des impuretés métalliques semblent nécessaires pour éclaircir ce point.

5. Conclusion. — Des mesures de capacités transitoires effectuées sur des échantillons n (implantés sélénium) sur semi-isolant avant implantation de bore n'ont pas révélé la présence de centres profonds à des concentrations $> 10^{14} \text{ cm}^{-3}$. Des mesures de courants transitoires après implantation de bore ont permis de déterminer les niveaux profonds présents dans nos échantillons. Un seul niveau (0,52 eV) est commun aux échantillons implantés bore. Ce niveau qui peut être attribué à un excès d'atomes en site arsenic [14] diminue quand la concentration de bore augmente et pourrait être identique au centre B(2) de Newman [19] : bore en site arsenic à caractère accepteur.

Bibliographie

- [1] DAVIES, D. E., KENNEDY, J. K., YANG, A. C., *Appl. Phys. Lett.* **23** (1973) 615.
- [2] RAO, E. V. K., DUHAMEL, N., FAVENNEC, P. N., L'HARIDON, H., *J. Appl. Phys.* **49** (1978) 3898.
- [3] TOULOUSE, B., GAUNEAU, M., GUIVARC'H, A., PELOUS, G., *Ion Beam Modification of Material conf.* (Budapest, 1978) (New York, Plenum) 1979, à paraître.
- [4] TOULOUSE, B., FAVENNEC, P. N., GUIVARC'H, A., PELOUS, G., *Inst. Phys. Conf. Ser.* n° 45 (London) 1979, p. 501.
- [5] FAVENNEC, P. N., HENRY, L., L'HARIDON, H., *Solid State Electron.* **21** (1978) 705.
- [6] HENRY, L., LAMY, P., GUIVARC'H, A., PELOUS, G., *Le Vide* **183** (1976) 101.
- [7] HURTES, Ch., BOULOU, M., MITONNEAU, A., BOIS, D., *Appl. Phys. Lett.* **32** (1978) 821.
- [8] LANG, D. V., LOGAN, R. A., *J. Electron. Mat.* **4** (1975) 1053.
- [9] LANG, D. V., *J. Appl. Phys.* **45** (1974) 3023.
- [10] MITONNEAU, A., MARTIN, G. M., MIRCEA, A., *Inst. Phys. Conf. Ser.* n° 33a (London) 1977.
- [11] SAH, C. T., FARBES, L., ROSIER, L. L., TASCH, A. F., *Solid State Electron.* **13** (1970) 759.
- [12] MIRCEA, A., MITONNEAU, A., VANNIMENUS, J., *J. Physique-Lett.* **38** (1977) L-41.
- [13] MARTIN, G. M., MITONNEAU, A., MIRCEA, A., *Electron. Lett.* **13** (1977) 191.
- [14] MITONNEAU, A., MARTIN, G. M., MIRCEA, A., *Electron. Lett.* **13** (1977) 666.
- [15] LANG, D. V., CHO, A. Y., GOSSARD, A. C., ILOGEMY, M., WIEGMANN, W., *J. Appl. Phys.* **47** (1976) 2558.
- [16] MIRCEA, A., MITONNEAU, A., *Appl. Phys.* **8** (1975) 15.
- [17] TOULOUSE, B., Thèse en préparation.
- [18] THOMPSON, F., NEWMAN, R. C., *J. Phys. C : Solid State Phys.* **5** (1972) 1999.
- [19] LAITHWAITE, K., NEWMAN, R. C., ANGRESS, J. F., GLEDHILL, G. A., *Inst. Phys. Conf. Ser.* n° 33a (London) 1977, p. 133.
-