



HAL
open science

Propriétés physiques des structures MIS réalisées sur InP(n) en utilisant un oxyde bicouche comme isolant

B. Bouchikhi, Christine Michel, C. Boutrit, B. Lepley

► **To cite this version:**

B. Bouchikhi, Christine Michel, C. Boutrit, B. Lepley. Propriétés physiques des structures MIS réalisées sur InP(n) en utilisant un oxyde bicouche comme isolant. *Revue de Physique Appliquée*, 1987, 22 (8), pp.881-884. 10.1051/rphysap:01987002208088100 . jpa-00245627

HAL Id: jpa-00245627

<https://hal.science/jpa-00245627v1>

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
 73.40Q

Propriétés physiques des structures MIS réalisées sur InP(*n*) en utilisant un oxyde bicouche comme isolant

B. Bouchikhi, C. Michel, C. Boutrit et B. Lepley (*)

Laboratoire d'Electronique et de Physique des interfaces (LEPI), ESSTIN,
 Parc Robert-Bentz, 54500 Vandœuvre-Les-Nancy, France

(*) CLOES, ESE, Université de Metz-SUPELEC, 57078 Metz Cedex 3, France

(Reçu le 16 janvier 1987, révisé le 19 mars 1987, accepté le 16 avril 1987)

Résumé. — Les propriétés électriques de l'interface d'un oxyde natif plasma RF bicouche ont été étudiées par des mesures de capacité et de conductance en fonction de la tension de polarisation à différentes fréquences et températures. Les propriétés électriques des diodes MIS dépendent de l'origine du substrat ainsi que de la durée d'oxydation. Les caractéristiques *C-V* tracées à différentes fréquences et températures présentent des comportements anormaux, à savoir, un plateau en polarisation inverse et une dépendance en fonction de la fréquence et de la température dans le domaine des polarisations directes. La composition de la surface ainsi que la stœchiométrie des oxydes plasma réalisés en utilisant une cathode d'InP ou une cathode d'alumine ont été examinées par la technique XPS. Les résultats de cette analyse ont montré que la surface des oxydes est appauvrie en phosphore et enrichie en indium.

Abstract. — The interfacial electrical properties of an RF plasma grown native oxide double-layer have been studied. These measurements include capacitance and conductance *versus* bias voltage with frequency and temperature as parameters. We find that the electrical characteristics of the MIS diodes depend on the sample and time of oxidation. The capacitance-voltage data performed at different frequencies and temperatures show an unusual behaviour, namely, a plateau in negative gate bias and some frequency and temperature dependence in the entire range of the applied forward gate bias. The surface composition and stoichiometry of oxides grown on InP by using the InP or alumina-cathode have been examined by using XPS technique. The XPS results show that the oxide layers are depleted of phosphorus and appeared to be indium-rich oxides.

1. Introduction.

Les propriétés physiques du phosphore d'indium, mobilité électronique et vitesse à saturation en font un semi-conducteur de base pour les circuits rapides et en particulier dans l'élaboration de transistors à effet de champ à grille isolée. La passivation de la surface de l'InP et la préparation d'un isolant de bonne qualité demeurent les problèmes qu'il faut résoudre dans l'élaboration d'un TEC MIS avec InP. Nous avons choisi de passiver InP et d'élaborer l'isolant par oxydation en plasma RF oxygène. Dans un premier temps, les oxydes fabriqués présentaient une forte densité de charges et les capacités des structures MIS montraient une dispersion importante en fréquence. Les densités d'états mesurées dépassaient $10^{13} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$ au voisinage de la bande de conduction.

Pour améliorer les qualités des structures, nous avons envisagé de procéder à l'oxydation en deux

temps : création d'un oxyde riche en phosphore [1-4] en utilisant une cathode d'InP, puis croissance d'un second oxyde à l'aide d'une cathode d'alumine. La structure bicouche ainsi constituée permet d'abaisser les densités d'états de surface et de réduire dans une mesure importante la dispersion en fréquence observée en accumulation. Dans cet article, nous exposons les principaux résultats obtenus sur des structures MIS bicouche.

Nous avons d'autre part essayé de relier les propriétés physico-chimiques des oxydes à leurs propriétés électriques : des mesures XPS ont été effectuées sur des oxydes réalisés avec une seule cathode.

2. Elaboration des structures MIS et méthodes de caractérisation.

Après un traitement chimique dans HCl 3N pendant 7 min pour enlever la couche d'oxyde naturel, les

échantillons d'InP (100) (MCP et CNET Lannion) de densités de dopage respectives 8×10^{16} et $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ sont placés dans un générateur de plasma RF oxygène à 13,56 MHz durant 40 min, le substrat étant maintenu à 300 °C. Pendant les vingt premières minutes, le plasma est réalisé avec une cathode d'InP puis avec une cathode d'alumine pour le temps restant. Avant de procéder à la première étape d'oxydation, un traitement *in situ* sous atmosphère d'hydrogène à 275 °C est effectué systématiquement afin de réduire l'oxyde naturel. Une première oxydation est effectuée en utilisant une cathode d'InP à une puissance relativement faible pour éviter l'endommagement de la surface du substrat. Juste après cette première étape d'oxydation, un recuit sous flux d'azote à 300 °C est effectué *in situ*, pour améliorer la qualité de l'interface, avant la remise à l'air de l'enceinte pour remplacer la cathode d'InP par celle d'alumine. Un deuxième diélectrique est réalisé exactement dans les mêmes conditions que le précédent en remplaçant la cathode d'InP par une cathode d'alumine. La structure ainsi réalisée constitue une bicouche (BC). L'épaisseur du diélectrique résultant est de 130 Å. Les capacités MIS sont réalisées par évaporation thermique de plots d'or de 1 mm de diamètre. Le contact ohmique étant réalisé par évaporation de l'eutectique Au-Ge sur la face non polie. Les qualités électriques de la couche d'oxyde et de l'interface sont évaluées à l'aide de mesures $C(V)$, $G(V)$ dans un domaine de fréquences allant de quelques dizaines de Hertz à 1 MHz et pour des températures comprises entre 150 K et 373 K.

La capacité et la conductance des structures sont mesurées à l'aide d'un banc de mesures automatiques construit au laboratoire [5, 6].

3. Résultats et interprétation.

3.1 CARACTÉRISTIQUES $C-V$ A 1 MHz. — Les figures 1a (cristaux CNET) et 1b (cristaux MCP) représentent les caractéristiques $C-V$ à 1 MHz pour des structures BC préparées à différents temps d'oxydation. Pour les deux types de cristaux les courbes $C-V$ présentent une hystérésis dans le sens des aiguilles d'une montre : on a donc injection de charges dans l'oxyde. Pour une polarisation variant de -2 V à $+2 \text{ V}$ et une vitesse de balayage de 15 mV/s, l'amplitude de l'hystérésis est d'environ 0,2 V pour une durée d'oxydation de 40 min, valeur qui semble être indépendante de l'origine des cristaux. Cette amplitude a tendance à augmenter pour des durées d'oxydation différant de 40 min.

On constate aussi que pour les mêmes durées d'oxydation, les structures MIS réalisées sur des cristaux CNET conduisent à des interfaces dont le potentiel de surface est beaucoup plus modulable que celui des MCP. De plus les oxydes réalisés pour

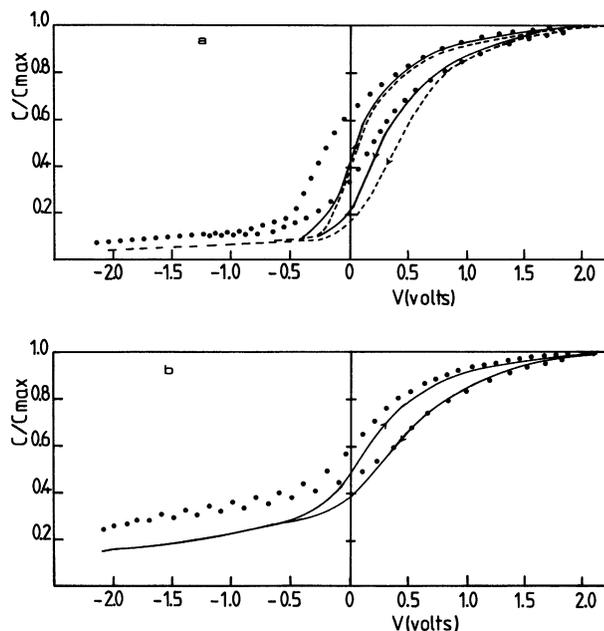


Fig. 1. — Evolution des caractéristiques capacité-tension à 1 MHz des structures MIS plasma natif bicouche pour différentes durées d'oxydation. (a) Cristaux CNET : 15 min (- - -), 40 min (—), 60 min (●●●). (b) Cristaux MCP : 40 min (—), 60 min (●●●).

[Change of capacitance-voltage characteristics at 1 MHz of plasma native oxide double-layer InP MIS diodes for different times of oxidation. (a) CNET samples : 15 min (- - -), 40 min (—), 60 min (●●●). (b) MCP samples : 40 min (—), 60 min (●●●).]

des temps prolongés (60 min), tout comme pour une durée de 15 min, conduisent à des interfaces de qualité médiocre. Les courbes $C-V$ ont tendance à s'aplatir (Fig. 1a) signalant une forte densité d'états d'interface, et en particulier une dispersion importante de la capacité avec la fréquence [7]. Ceci est probablement dû à une dégradation de la surface liée au bombardement ionique survenant lors de la décharge. Quand le temps d'oxydation augmente, les courbes $C-V$ se déplacent vers les tensions négatives surtout pour les cristaux MCP.

En observant la pente des courbes $C-V$, on remarque que les cristaux du CNET présentent des densités d'états de surface plus faibles quel que soit le temps d'oxydation.

La valeur de la densité d'états d'interface (N_{ss}) déterminée par la méthode de Terman sur les courbes $C-V$ à 1 MHz, dans les conditions optimales de préparation approchent les $5 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$ [7]. La résistivité évaluée d'après les caractéristiques $I-V$ à $+1 \text{ V}$ est de l'ordre de $10^9 \Omega \text{ cm}$. Ces valeurs restent comparables à celles trouvées par Kanazawa [8] sur des structures MIS préparées par la même technique plasma. Toutefois, les performances de ces structures restent médiocres, si on les compare aux récents travaux de Chang *et al.* [9]. Ce dernier a

pu obtenir des densités d'états d'interface de $10^{10} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$ avec des résistivités de l'ordre de 10^{13} - $10^{15} \Omega \text{ cm}$. Ce résultat a été obtenu sur un diélectrique de composition InP_xO_y , formé par la méthode de dépôt en phase vapeur assistée par plasma à faible pression (LPCVD). La faible valeur de la résistivité de nos structures pourrait s'expliquer par une formation préférentielle d'une surface riche en indium comme semblent le confirmer les résultats XPS (Tableau I).

3.2 CARACTÉRISTIQUES C-V A FRÉQUENCE VARIABLE. — Les courbes C-V à différentes fréquences d'une diode MIS BC sont représentées sur la figure 2 à la température de mesure de 293 K. Ces courbes sont caractérisées par une dispersion en fréquence à polarisation positive mais cette dispersion est notablement plus faible que celle observée sur une structure MIS élaborée à partir de la seule cathode

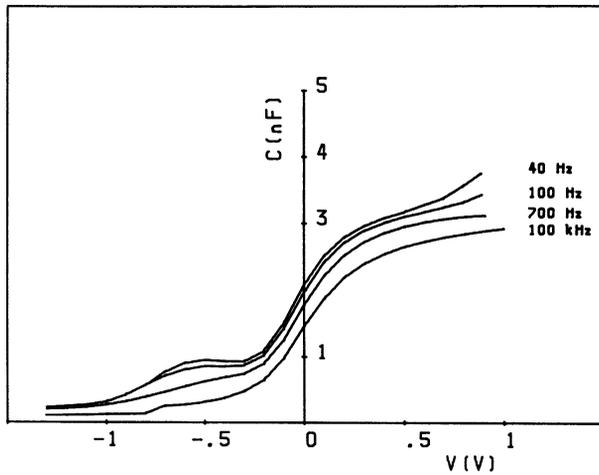


Fig. 2. — Caractéristiques capacité-tension de la structure MIS sur InP (CNET) obtenues à différentes fréquences.

[Capacitance-voltage characteristics of the elaborated InP MIS structure (CNET) with frequency as parameter.]

Tableau I. — Composition atomique, différences des énergies de liaison (eV), énergies de liaison (largeur à mi-hauteur) des niveaux de cœur pour différents oxydes natifs sur InP. (S1) oxyde natif plasma avec cathode d'alumine. (S2) oxyde natif plasma avec cathode d'InP. (S3) oxyde thermique.

[Atomic composition, energy separations (eV), binding energies, and FMHM (in parentheses) of some core levels for different native oxides grown on InP. (S1) native plasma oxide realized by using the alumina-cathode. (S2) native plasma oxide realized by using InP-cathode. (S3) thermal oxide.]

Structure	Atomic composition	O 1s-In 3d	O 1s-P 2p	In 3d-P 2p	O 1s	In 3d	P 2p	C 1s	Al 2p
S1	$\text{InP}_{0,4}\text{O}_{1,3}\text{Al}_{6,5}$	86,6	397,5	310,9	530,9 (2,83) 531,5	444,3 (1,63)	133,4 (2,06)	284,8 (1,43)	74,2 (1,62)
S2	$\text{InP}_{0,23}\text{O}_{2,6}$	85,3 86,6	396,5	311,2	530,7 (2,85) 531,9	445,3 (1,61)	134,2 (1,71)	285,7 (1,31)	
S3	$\text{InP}_{0,5}\text{O}_{2,8}$	86,8	397,9	311,0	531,5 (2,08)	444,6 (1,73)	133,6 (2,04) (128,8 (1,47))	285,0 (1,61)	

d'alumine [10]. La valeur limite de la conductance de l'oxyde ainsi que la forte densité d'états près de la bande de conduction expliquent l'anomalie observée. De plus, on observe, pour des fréquences inférieures à 100 Hz et pour les tensions de polarisation comprises entre $-0,3 \text{ V}$ et $-0,6 \text{ V}$, un palier traduisant un blocage partiel du niveau de Fermi dû vraisemblablement à un niveau piège. Afin d'identifier ce niveau piège, nous avons représenté le diagramme d'Arrhénius de la conductance parallèle liée aux états d'interface G_p/ω en fonction de $1000/T$ à $V = -0,6 \text{ V}$. Le résultat de cette analyse permet d'obtenir une énergie d'activation $E_a = 0,38 \text{ eV}$ [11]. Cette valeur est légèrement inférieure à celle déterminée par la méthode DLTS ($E_a = 0,46 \text{ eV}$) [12], sur d'autres capacités MIS préparées par la même technique dite bicouche. La concentration de ce niveau piège déterminée à partir des mesures C-V à 1 MHz par l'utilisation de la méthode de Terman et par DLTS [11, 12], est de l'ordre de $3 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$. Quant à son origine, il semblerait que ce niveau soit dû à des liaisons pendantes de l'antisite InP conformément au modèle théorique développé par Allen *et al.* [13].

3.3 CARACTÉRISTIQUES C-V A DIFFÉRENTES TEMPÉRATURES. — La figure 3 représente, à la fréquence 1 kHz, les courbes C-V pour des températures variant de 150 K à 373 K. D'une manière générale, pour une tension donnée, la capacité de la structure augmente avec la température comme pour les courbes C-V en fonction de la fréquence (Fig. 2); on n'observe pas de saturation à forte polarisation ce qui peut s'expliquer par la forte densité d'états d'interface au voisinage de la bande de conduction ($10^{13} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$) et par la faible résistivité de l'oxyde qui se manifeste par des courants de fuite [14, 15]. Au-dessus de 313 K les courbes C-V présentent un palier compris entre $-0,3$ et $-0,6 \text{ V}$ qui est thermiquement activé.

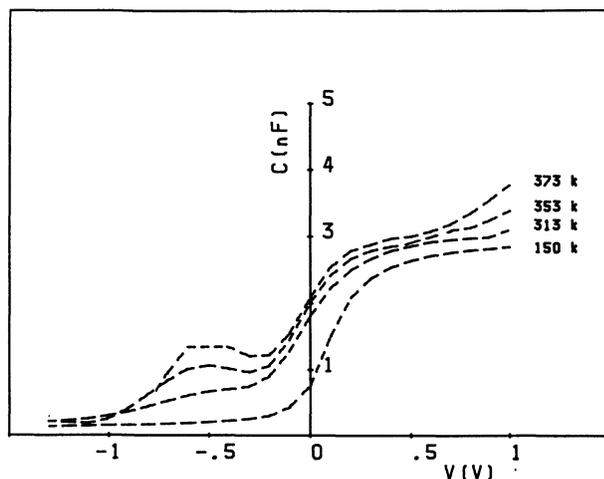


Fig. 3. — Caractéristiques capacité-tension obtenues à différentes températures mesurées à 1 kHz.

[Capacitance as a function of gate bias with temperature as parameter measured at 1 kHz.]

3.4 ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE. — Les spectres XPS ont été obtenus à l'aide d'un spectromètre Hewlett-Packard 5950 A utilisant la radiation K_{α} de l'aluminium [16]. On a étudié successivement un oxyde thermique de référence, un oxyde natif plasma RF avec une cathode d'alumine puis un oxyde natif plasma RF avec une cathode d'InP.

Le tableau I regroupe les énergies de liaison des éléments présents dans les oxydes ainsi que les différences d'énergie de liaison entre O_{1s} et In_{3d} , O_{1s} et P_{2p} , In_{3d} et P_{2p} , ces derniers paramètres permettent de comparer la composition des oxydes réalisés avec celle de composés standard [16]. Il ressort de ce tableau que les différentes techniques de préparation conduisent à des variations notables de la composition atomique des oxydes. L'oxyde S1 pourrait avoir une composition proche de celle du

mélange $6,5(Al_2O_3) + 0,6(In_2O_3) + 0,4(InPO_4)$ alors que S2 correspondrait à $(In_2O_3) + (InPO_4)$ et que l'oxyde thermique a une composition voisine de $InPO_4$. On peut estimer que la bicouche présente la composition des oxydes S1 et S2 superposés. D'après les résultats du tableau I il apparaît que les trois oxydes élaborés sont riches en indium ce qui peut expliquer la faible résistivité du diélectrique élaboré.

4. Conclusion.

On a montré que l'utilisation de la méthode BC pour réaliser des structures MIS sur InP est très favorable par rapport à la méthode conventionnelle utilisant soit la cathode d'InP seule soit la cathode d'alumine seule. L'oxydation du substrat d'InP en deux temps en utilisant respectivement les deux cathodes, d'InP et d'alumine, avec des traitements *in situ* bien appropriés avant et entre les deux étapes d'oxydation, permet de réduire la densité d'états d'interface. Un autre avantage qui apparaît très important pour le développement des MISFET, est la réduction partielle de la dispersion de la capacité vers l'accumulation; ce qui amène à la conclusion que la qualité électronique de l'interface avec le substrat InP est notablement améliorée par l'utilisation d'une bicouche. L'analyse XPS montre que les oxydes formés sont riches en indium ce qui explique la faible valeur de la résistivité des couches isolantes. Des études de réalisation des oxydes natifs bicouche sous une pression partielle de phosphore sont en cours d'expérimentation afin d'augmenter la résistivité du diélectrique.

Remerciements.

Les auteurs remercient vivement Mrs. G. Hollinger (I.N.P.-Lyon) pour l'analyse XPS, R. Coquillé du CNET (LAB-ICM-MPA) pour la fourniture des substrats d'InP utilisés dans cette étude.

Bibliographie

- [1] HIROTA, Y. and KOBAYASHI, T., *J. Appl. Phys.* **53** (1982) 5037.
- [2] PANDE, K. P. and GUTIERREZ, D., *Appl. Phys. Lett.* **46** (1985) 416.
- [3] CHOUJAA, A., CHAVE, J., BLANCHET, R. and VIKTOROVITCH, P., *J. Appl. Phys.* **60** (1986) 2191.
- [4] SCHACHTER, R., VISCIOGLIOSI, M., BUNZ, L. A., OLEGO, D. J., SERREZE, H. B. and RACCAH, P. M., *J. Vac. Sci. Technol.* **B 4** (1986) 1128.
- [5] BOYER, J., Thèse CNAM Nancy I (1984).
- [6] VALMONT, G., Thèse CNAM Nancy I (1986).
- [7] BOUCHIKHI, B., MICHEL, C., AIT SAADA, O., RAVELET, S. and LEPLEY, B., Proc. of the conf. meet. E-MRS, Strasbourg 1986, Edit. de Phys. Vol. XII (1986), p. 361.
- [8] KANAZAWA, K. and MATSUNAMI, H., *Jpn. J. Appl. Phys.* **20** (1981) L211.
- [9] CHANG, H. L., MEINERS, L. G. and SA, C. J., *Appl. Phys. Lett.* **48** (1986) 375.
- [10] BOUCHIKHI, B., MICHEL, C., VALMONT, G., RAVELET, S. and LEPLEY, B., *Semicond. Sci. Technol.* **1** (1986) 143.
- [11] BOUCHIKHI, B., MICHEL, C., RAVELET, S. and LEPLEY, B., *Phys. Status Solidi A* **101** (1987) 670.
- [12] LEPLEY, B., BATH, A. and BOUCHIKHI, B., Poster présenté aux Journées Nationales Microélectronique III-V Aussois 7-9 jan. (1986).
- [13] ALLEN, R. E., SANKEY, O. F. and DOW, J. D., *Surf. Sci.* **168** (1986) 376.
- [14] SAWADA, T. and HASEGAWA, H., *Inst. Phys. Conf. Ser.* **65** (1982) 415.
- [15] BOUCHIKHI, B., VALMONT, G., MICHEL, C. and RAVELET, S., *Thin Solid Films* **150** (1987) 227.
- [16] HOLLINGER, G., BERGINAL, E., JOSEPH, J. and ROBACH, Y., *J. Vac. Sci. Technol.* **A 3** (1985) 2082.