Propriétés électriques des structures MIS sur InP passivé par un oxyde

J. Joseph, A. Mahdjoub, Y. Robach

► To cite this version:

J. Joseph, A. Mahdjoub, Y. Robach. Propriétés électriques des structures MIS sur InP passivé par un oxyde. Revue de Physique Appliquée, 1989, 24 (2), pp.189-194. 10.1051/rphysap:01989002402018900 . jpa-00246041

HAL Id: jpa-00246041

<https://hal.science/jpa-00246041>

Submitted on 1 Jan 1989

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

19.60E — 68.55N — 72.40Θ

Propriétés électriques des structures MIS sur InP passivé par un oxyde

J. Joseph, A. Mahdjoub et Y. Robach

Laboratoire de Physicochimie des Interfaces ; UA CNRS 404, Ecole Centrale de Lyon, 69131 Ecully Cedex, France

(Reçu le 1^{er} juillet 1988, accepté le 12 septembre 1988)

Résumé. — Par oxydation de l'InP en milieu liquide on peut obtenir le phosphate condensé $\text{In}(\text{PO}_3)_3$. L'étude des propriétés physicochimiques de ce composé a déjà montré qu'il pouvait être un bon candidat à la passivation de l'InP. Dans ce travail, des capacités MIS ont été fabriquées en utilisant cet oxyde natif, et les caractéristiques $C(V)$ de ces structures ont été mesurées et analysées. Ces résultats montrent que le minimum de la densité d'états d'interface est typiquement de $10^{11} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$.

Abstract. — By oxidation of InP in liquid medium, condensed indium phosphate $\text{In}(\text{PO}_3)_3$ could be obtained. In a previous work the physicochemical properties of this compound were studied and it was shown that it could be a good candidate for the passivation of InP. In this work MIS capacitors have been elaborated using this native oxide, $C(V)$ characteristics of these structures have been measured and analysed. From these results, it was inferred that the minimum of the interface state density is typically of $10^{11} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$.

1. Introduction.

L'influence des oxydes natifs sur les propriétés électriques des composants électroniques obtenus avec les semiconducteurs III-V est très controversée. Plus particulièrement sur l'InP, on peut regrouper les résultats en deux familles, apparemment contradictoires : d'une part, certains travaux [1] attribuent à la présence (volontaire ou non) d'oxyde les mauvaises propriétés des transistors MIS, notamment la dérive. D'autre part certains résultats [2] montrent que la densité d'états d'interface diminue fortement si on oxyde le semiconducteur. En fait, l'analyse détaillée de l'oxydation des semiconducteurs III-V montre que l'on peut, sur ces composés binaires, obtenir suivant les conditions expérimentales tout un ensemble d'oxydes aux propriétés très diverses. On comprend donc que certains peuvent en raison de leurs propriétés physicochimiques avoir un effet bénéfique, d'autres un effet nocif. Il est donc intéressant d'étudier les propriétés physicochimiques des oxydes ainsi que les méthodes d'oxydation permettant d'obtenir, de façon contrôlée et sélective, l'un d'entre eux en phase homogène.

Dans de précédents travaux nous avons donc étudié la nature des oxydes obtenus sur InP par des méthodes thermiques, chimiques et électrochimiques

[3]. L'analyse de ces résultats a montré que l'un de ces oxydes, $\text{In}(\text{PO}_3)_3$, avait des propriétés intéressantes pour la passivation électrique de l'InP [4].

Dans cet article nous allons donner les résultats des caractéristiques électriques obtenues en utilisant ce phosphate condensé comme passivation de l'InP, ce composé pouvant être obtenu par deux méthodes différentes : chimique et électrochimique. Nous étudierons l'influence de la méthode d'élaboration et le rôle des différents paramètres de l'oxydation.

2. Techniques d'élaboration.

Les substrats d'InP (type N) non intentionnellement dopé ($N_D = 4 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$) d'orientation (100) sont polis, dégraissés et décapés avant l'oxydation dans une solution HF 5 % pendant 30 s. L'oxydation anodique se fait dans une cellule en plexiglas munie de fenêtre en quartz permettant l'illumination par une lampe xénon 150 W (ORIEL) de l'électrode semiconductrice polarisée positivement par rapport à une contre-électrode en platine. L'échantillon est collé sur un support en téflon, le contact électrique est pris sur la face arrière en contact avec ce support. Pour ce contact on utilise un mélange In-Ga simplement étalé sur la face arrière. La qualité de ce contact n'est pas critique puisque l'oxydation est

effectuée à courant imposé (mode intentiostatique). La surface en contact avec l'électrolyte est parfaitement définie par un masquage de la surface de l'échantillon par une résine. Nous avons utilisé un électrolyte, désigné sous le sigle AGW (Anodisation in Glycol and Water) [5-6] qui permet d'obtenir une croissance homogène d'oxyde : il est constitué d'un volume d'une solution aqueuse à 3 % d'acide (acide orthophosphorique dans notre cas) mélangé à deux volumes de propylène-glycol. Le pH de la solution aqueuse peut être ajusté par ajout d'ammoniaque.

Pour les oxydations uniquement chimiques nous avons utilisé des solutions de HNO_3 concentrée (65 %) [7]. L'épaisseur de l'oxyde formé peut être contrôlée par la température et la durée de l'oxydation.

Pour obtenir des capacités MIS, on dépose de l'alumine par évaporation au canon à électrons sous un vide de 10^{-7} torr [8]. Le métal de grille (aluminium ou or) est déposé par évaporation thermique.

3. Oxydations anodiques.

La croissance d'oxyde anodique est effectuée à densité de courant constante, dans la gamme 0,1-1 mA/cm^2 ; elle peut être aisément contrôlée par l'enregistrement de la tension entre les deux électrodes (courbe $V(t)$). Lorsque la tension V atteint une valeur finale V_f préétablie, l'oxydation est poursuivie à tension constante jusqu'à décroissance du courant. Le choix de la tension finale V_f détermine l'épaisseur d'oxyde formée. Une caractéristique $V(t)$ typique est représentée sur la figure 1, pour une densité de courant de 0,2 mA/cm^2 . Cette courbe montre trois régimes successifs d'oxydation. Après une phase de nucléation (région I), on observe une phase de croissance linéaire (région II) suivie, après l'infléchissement de la tension d'une phase de croissance plus lente que la précédente (région III). Dans la phase de croissance linéaire pour des densités de courant de 0,2 mA/cm^2 , la vitesse de croissance est d'environ 10 Å/V. L'étude complète de cette oxydation sera publiée par ailleurs, mais on peut dégager les points importants suivants : Dans la région II, l'étude du bilan des charges montre que le rendement d'oxydation est proche de 1. Dans la région III, l'infléchissement est probablement dû à une baisse du rendement, provenant de la superposition d'un courant électronique lié à l'oxydation d'espèces en solution au courant ionique normal d'oxydation.

L'analyse détaillée de la composition chimique de cet oxyde anodique a déjà été publiée [3]. Rappelons qu'il présente une structure stratifiée : une couche superficielle riche en indium constituée d'un mélange d' In_2O_3 ou $\text{In}(\text{OH})_3$ et d' InPO_4 , et une couche interfaciale riche en phosphore dont la composition est proche de $\text{In}(\text{PO}_3)_3$. Cette structure double apparaît clairement sur la figure 2 qui représente

Fig. 1. — Courbe $V(t)$ de croissance d'un oxyde anodique dans un électrolyte AGW (3 % H_3PO_4 pH = 2) pour une densité de courant constante de 0,2 mA/cm^2 .

[$V(t)$ curve of anodic oxidation in a AGW electrolyte (3 % H_3PO_4 pH = 2) with constant current density (0.2 mA/cm^2).]

Fig. 2. — Couche d'épaisseur résiduelle en fonction du temps pendant une dissolution chimique d'un oxyde anodique dans une solution HF 0,01 %.

[Thickness vs. time during chemical dissolution of an anodic oxide in dilute HF solution 0.01 %.]

l'évolution de l'épaisseur d'oxyde pendant une dissolution chimique contrôlée dans une solution diluée de HF (0,01 %). Les épaisseurs sont mesurées par ellipsométrie. La première phase de dissolution rapide (environ 50 à 100 Å/min) correspond à la dissolution de l'oxyde de surface riche en indium, la seconde phase plus lente (10 à 15 Å/min) correspond à la dissolution de l'oxyde interfacial riche en phosphore. Notons que la zone la plus proche du semiconducteur se dissout encore plus difficilement et qu'il faut utiliser une solution plus concentrée pour la dissoudre.

4. Oxydation chimique.

Par oxydation dans HNO₃ à chaud sous éclaircment on peut obtenir sur l'InP type N des oxydes dont l'épaisseur peut atteindre 1 000 Å. Contrairement à l'oxyde anodique il est homogène en épaisseur et sa composition est proche de la partie riche en phosphore (couche interne) de l'oxyde anodique. Sa vitesse de dissolution dans une solution HF diluée diminue lorsque la température du bain d'oxydation augmente. Ceci traduit sans doute une moindre hydratation. Aussi nous avons élaboré tous les oxydes à 70 °C.

5. Propriétés de l'In(PO₃)₃.

Ces résultats montrent qu'il est possible d'obtenir des couches homogènes de phosphate condensé proche de In(PO₃)₃, à la fois par voie chimique ou électrochimique. Dans ce dernier cas il suffit par dissolution chimique contrôlée d'éliminer la couche superficielle riche en indium. Ce phosphate condensé possède des caractéristiques physicochimiques intéressantes que nous allons rappeler [9] :

- C'est un composé amorphe de composition In(PO_x)_y, qui existe dans un large domaine de *x* et *y* autour de 3. Cette structure amorphe permet une variation de *x* et *y* sans que l'écart à la stœchiométrie fasse apparaître des liaisons non satisfaites et donc des défauts électriques ;
- L'interface InP/phosphate condensé est relativement plane. Une analyse spectroellipsométrique [10], confirmée dans certains cas par microscopie à transmission haute résolution, montre que la rugosité est d'environ 20 Å, avec un léger avantage pour les oxydes chimiques ;
- La bande interdite est d'après nos mesures de spectroellipsométrie supérieure à 5,2 eV, limite supérieure de notre appareil [10]. Mais des résultats préliminaires montrent qu'elle doit être voisine de 7 eV.

Pour compléter la caractérisation de ces phosphates condensés nous avons relevé des caractéristiques *I(V)* sur trois échantillons représentatifs : deux échantillons oxydés anodiquement (l'oxydation est arrêtée dans les deux cas avant l'apparition de la phase 3), l'oxyde de surface ayant été dissous et un échantillon oxydé chimiquement laissé tel quel. Tous les échantillons subissent un recuit de déshydratation de 30 min à 200 °C sous flux d'azote. Les caractéristiques *I(V)* montrent un comportement classique : le logarithme du courant est proportionnel à la racine carrée du champ électrique.

Le tableau I présente les résultats obtenus. La résistivité est définie comme le rapport du champ électrique à la densité de courant pour un champ de 10⁵ V/cm en polarisation directe. Ces résultats montrent que les oxydes anodiques minces sont les plus

Tableau 1. — Résistivité et champ de claquage des oxydes natifs.

[Resistivity and voltage breakdown of native oxydes.]

Echantillon	Epaisseur Å	Résistivité Ω . cm	Champ de claquage V/cm
anodique	170	2 × 10 ¹³	10 ⁶
anodique	380	10 ¹²	10 ⁶
chimique	320	10 ¹¹	10 ⁵

résistifs. Nos valeurs de résistivité sont légèrement supérieures à celles déjà publiées [6]. Cette différence peut s'expliquer par la suppression dans notre cas de la couche superficielle riche en indium. Nous avons aussi effectué des mesures de capacité différentielle *C(V)* sur ces oxydes. L'analyse de ces caractéristiques montre une grande dispersion de la capacité en régime d'accumulation pour les oxydes épais. Pour les oxydes minces ce phénomène s'atténue mais la faible tension de claquage limite très fortement la variation de la tension. Il est donc préférable de déposer un diélectrique de bonne qualité sur la surface passivée pour obtenir une structure MIS de bonne qualité.

6. Capacité MIS sur les surfaces oxydées.

La surface d'InP nue est naturellement très fragile et nécessite des méthodes de dépôt douces (basse température et particules peu énergétiques). Par contre plusieurs essais ont montré que la surface d'InP oxydée supporte sans dégradation de nombreuses méthodes de dépôt de diélectrique, par exemple les dépôts en phase vapeur assistés par plasma. De même ces surfaces oxydées supportent sans dommage des recuits jusqu'à des températures inférieures à 450 °C.

Nous allons présenter les résultats obtenus avec une seule méthode de dépôt et une seule procédure de recuit pour mettre en évidence l'influence des conditions d'oxydation. Une couche d'alumine d'épaisseur 1 000 Å est déposée au canon à électrons sur les échantillons oxydés. Les échantillons sont recuits d'abord pendant 30 min à 300° sous oxygène puis 1 à 2 h à 350 °C sous forming gaz (N₂ + H₂). Les mesures de capacité sont effectuées à 1 kHz, 10 kHz, 100 kHz et 1 MHz avec un pont Hewlett Packard 4192 A. A partir de cette dernière mesure les densités d'états d'interface sont estimées par la méthode de Terman.

6.1 CAPACITÉ MIS AVEC LES OXYDES ANODIQUES. — Dans l'oxydation anodique il est possible de faire

varier plusieurs paramètres : la nature de l'électrolyte, la densité du courant ou la tension finale d'oxydation. Nous allons examiner leur influence respective.

Nous utilisons des électrolytes AGW à base d'acide orthophosphorique H_3PO_4 . Nous avons vérifié que la nature de l'acide n'influe pas de façon significative sur la composition des oxydes. Par ajout d'acide ou de base (NH_4OH) il est possible de faire varier le pH. L'analyse XPS montre que pour tous les électrolytes les deux couches d'oxyde ont toujours des compositions voisines. Par contre, les parts respectives de la partie riche en phosphore et de celle riche en indium varient avec le pH. Mais après dissolution de cette dernière, les caractéristiques électriques sont analogues.

De même la densité de courant n'influe pas de façon significative sur la composition de l'oxyde interfacial et les caractéristiques $C(V)$ observées n'évoluent pas en fonction de la densité de courant. Par contre elle joue sur la rugosité d'interface. Plus la densité de courant est faible, moindre est la rugosité d'interface. Pour une valeur de $0,1 \text{ mA/cm}^2$, la rugosité est d'environ $20 \text{ \AA}$.

Enfin on peut contrôler la tension finale d'oxydation, c'est-à-dire l'épaisseur d'oxyde. Mais cette épaisseur peut aussi être fixée par une dissolution contrôlée de l'oxyde.

L'étude de la courbe de croissance (Fig. 1) a mis en évidence l'infléchissement de la tension aux environs de 20 V à $\text{pH} = 2$. Pour étudier le rôle de ce phénomène nous avons réalisé des capacités MIS sur deux échantillons dont l'oxydation a été arrêtée avant l'infléchissement pour l'un et après pour l'autre. Le premier correspond à la figure 4a, le second à la figure 3a. On note sur ce dernier une forte dispersion en fonction de la fréquence en accumulation et une forte hystérésis. Par contre, si on diminue l'épaisseur d'oxyde on observe une diminution progressive de ces phénomènes parasites et pour une épaisseur résiduelle de $50 \text{ \AA}$ (Fig. 3b) ces phénomènes disparaissent. Il semble donc que pendant la phase 3 de l'oxydation la présence du courant électronique supplémentaire dans l'oxyde induise des défauts électriques, surtout dans les couches superficielles. On en conclut donc qu'il faut arrêter l'oxydation avant l'infléchissement. Ceci explique en partie les résultats médiocres précédemment obtenus avec les oxydes natifs épais [6]. Notons que la tension d'infléchissement augmente lorsque le pH de la solution diminue, et qu'il est donc nécessaire d'utiliser des électrolytes très acides pour obtenir de bons oxydes épais de bonne qualité.

Nous avons aussi étudié le rôle de l'épaisseur de la couche de passivation sur les propriétés électriques. A cet effet, à partir d'un même échantillon oxydé jusqu'à une tension finale juste inférieure à cette tension d'infléchissement, différents échantillons à

Fig. 3. — Courbe capacité tension mesurée pour 3 fréquences (1 kHz, 10 kHz, 100 kHz) pour un échantillon oxydé jusqu'à une tension finale supérieure à la tension d'infléchissement. Vitesse de balayage 100 mV/s . (a) Epaisseur initiale d'oxyde $230 \text{ \AA}$. (b) Echantillon identique au précédent pour lequel l'épaisseur d'oxyde est ramené à $50 \text{ \AA}$ par dissolution.

[Capacitance voltage curves measured for three frequencies (1 kHz, 10 kHz, 100 kHz) of a sample oxidized up to a voltage above the curvature voltage. Sweep rate 100 mV/s . (a) Initial oxide thickness $230 \text{ \AA}$. (b) The same as above but with oxide thickness of $50 \text{ \AA}$ obtained after chemical dissolution.]

épaisseurs d'oxyde variables ont été obtenus par dissolution chimique contrôlée. L'examen des caractéristiques obtenues sur les structures MIS correspondantes montrent que l'épaisseur de l'oxyde n'influe pas sur les caractéristiques électriques si elle est supérieure à $50 \text{ \AA}$.

6.2 CAPACITÉ MIS AVEC OXYDE CHIMIQUE. — Par oxydation chimique, la composition de l'oxyde est homogène en volume, le principal paramètre est donc l'épaisseur. Ici aussi on peut faire varier l'épaisseur par plusieurs méthodes. D'abord en faisant varier la température de la solution (7), mais nous avons vu qu'il est préférable de travailler à haute température pour obtenir des oxydes denses. On peut aussi jouer sur le temps d'oxydation mais cette méthode est difficilement contrôlable. On peut enfin amincir chimiquement un oxyde épais. En utilisant cette méthode nous avons donc réalisé des

Fig. 4. — Comparaison des courbes capacité tension obtenue avec des oxydes électrochimiques et chimiques de 150 Å. Mêmes conditions expérimentales que la figure 3. (a) Oxyde anodique. (b) Oxyde chimique.

[Comparison of $C(V)$ curves obtained with anodic and chemical oxide with a thickness of 150 Å. Same experimental parameters as the figure 3. (a) Anodic oxide. (b) Chemical oxide.]

oxydes de différentes épaisseurs. Contrairement aux oxydes anodiques, la caractéristique $C(V)$ se dégrade rapidement si on diminue l'épaisseur d'oxyde. L'hystérésis et la dispersion en fréquence augmentent. Ceci semble être lié aux médiocres propriétés électriques des oxydes chimiques. Pour les oxydes chimiques, une épaisseur comprise entre 150 et 200 Å semble favorable. Le résultat d'une mesure $C(V)$ sur une structure chimique typique est représenté sur la figure 4b.

7. Densité d'états d'interfaces des surfaces oxydées.

La figure 4 permet de comparer les caractéristiques $C(V)$ obtenues pour des surfaces oxydées chimiquement et électrochimiquement, ces deux oxydes ayant la même épaisseur. La figure 5 compare les densités d'états d'interfaces obtenues par la méthode de Terman à partir d'une caractéristique $C(V)$ mesurée à 1 MHz non représentée. Les densités d'états obtenues avec les oxydes anodique et chimique sont comparées à celles d'un échantillon témoin où l'alumine est déposée directement sur la surface du

Fig. 5. — Comparaison des densités d'états d'interface : oxyde chimique (—) ; oxyde anodique (---) ; témoin HF (.....).

[Comparison of density of interface states : chemical oxide (—) ; anodic oxide (---) ; reference HF (.....).]

semiconducteur. A la comparaison de ces résultats, on peut faire les remarques suivantes :

- i) on observe une plus grande variation de la capacité mesurée pour les oxydes chimiques. Ceci traduit une plus grande facilité à contrôler la densité de porteurs dans le semiconducteur ;
- ii) on observe toujours une hystérésis (sens injection de charge) mais elle est plus importante dans le cas des oxydes chimiques. On peut donc penser qu'il y a une plus grande densité d'états lents ;
- iii) les caractéristiques $C(V)$ pour les oxydes anodiques sont généralement plus décalées vers les tensions positives, signe d'une charge fixe négative ;
- iv) les capacités obtenues avec les oxydes chimiques ne permettent pas de dépasser la tension de 5 V sans claquage.

Notons que pour des épaisseurs d'oxyde supérieures à 50 Å pour les oxydes anodiques, il n'y a pas d'effet de transfert de charges à l'interface oxyde-isolant. Par contre, pour les oxydes chimiques d'épaisseur inférieure à 100 Å il est possible que ce mécanisme existe.

L'analyse détaillée des états d'interfaces nécessite l'emploi de méthodes plus complètes que les $C(V)$. Ce travail est en cours avec des méthodes de courants transitoires [11]. Les résultats sont en accord avec ceux obtenus ici : faible densité d'états d'interface uniquement dans la partie supérieure de la bande interdite avec un minimum voisin de $10^{11} \text{ eV}^{-1} \text{ cm}^{-1}$.

8. Conclusion.

La croissance d'un oxyde natif sur un semiconducteur composé est un phénomène complexe. Le mode d'élaboration de l'oxyde, mais aussi les différents paramètres de l'oxydation influent à la fois sur la composition chimique de l'oxyde formé, et sur les

propriétés électriques de l'oxyde et de l'interface oxyde/semiconducteur. Cette étude a permis de montrer dans quelles conditions expérimentales, il est possible d'obtenir un phosphate condensé homogène permettant une passivation de la surface d'InP, mais elle précise aussi dans quelles limites cette passivation peut effectivement être réalisée.

L'étude comparée des modes d'élaboration chimique ou électrochimique montre en particulier que des composés chimiquement voisins conduisent cependant à des caractéristiques électriques sensiblement différentes. Ceci montre qu'une connaissance plus approfondie des mécanismes de croissance mis en jeu serait d'une grande importance pour une meilleure compréhension de l'origine des états d'interface.

L'un des avantages de cette méthode est de consommer le substrat et donc d'effacer l'influence des conditions de préparation initiale de la surface. Ceci se traduit notamment par une grande reproductibilité des résultats.

D'autre part, puisqu'il est possible de conserver des épaisseurs d'oxyde comprises entre 50 et 150 Å, on peut protéger la surface du semiconducteur. On peut donc envisager d'utiliser des méthodes de dépôt des diélectriques énergétiques permettant d'obtenir de bons isolants.

Notons enfin que ces structures obtenues évoluent peu dans le temps puisque des mesures effectuées sur des échantillons 6 mois après leur fabrication ne montrent pas d'évolution des caractéristiques.

Le développement de cette méthode de passivation nécessite la réalisation de transistors et l'étude de leurs caractéristiques et de leur dérive. Une étude en ce sens est en cours.

Remerciements.

Ce travail a été réalisé avec l'aide du CNET que nous remercions (contrat No 86.1B.156007.909245 PAB).

Bibliographie

- [1] WAGER, J. F., GEIB, K. M., WILMSEN, C. W., KAZMERSKI, L. L., *J. Vac. Sci. Technol.* B1(3) (1983) 778.
 - [2] SAWADA, T., ISHII, K., HASEGAWA, H., *J. Appl. Phys. Suppl.* 21 (1981) 397.
 - [3] HOLLINGER, G., JOSEPH, J., ROBACH, Y., BERGIGNAT, E., COMMERE, B., VIKTOROVITCH, P., FROMENT, M., *J. Vac. Sci. Technol.* B 5 (1987) 1108.
 - [4] ROBACH, Y., JOSEPH, J., BERGIGNAT, E., COMMERE, B., HOLLINGER, G., VIKTOROVITCH, P., *Appl. Phys. Lett.* 49 (1986) 1281.
 - [5] COLQUHOUN, A., HARTNAGEL, H., *Surf. Technol.* 5 (1977) 291.
 - [6] YAMAMOTO, A., YAMAGUCHI, M., VEMURA, C., *J. Electrochem. Soc.* 129 (1982) 2795.
 - [7] WADA, O., MAJERFELD, A., ROBSON, P. N., *Solid State Electron.* 25 (1982) 381.
 - [8] BLANCHET, R., SANTINELLI, C., *J. Vac. Sci. Technol.* A 4 (1986) 1948.
 - [9] JOSEPH, J., ROBACH, Y., MAHDJOUR, A., HOLLINGER, G., BERGIGNAT, E., PERRET, PITAVAL, M., *Vide* 241 (1988) 217.
 - [10] ROBACH, Y., GAGNAIRE, A., JOSEPH, J., BERGIGNAT, E., HOLLINGER, G., *Thin Solid Film* (à paraître).
 - [11] VIKTOROVITCH, P., 172th Meeting of the Electrochemical Society, 21-23 oct. (1987) Hawai Honolulu, *J. Electrochem. Soc.* (à paraître).
-