Spectroscopie des composés $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ par modulation de longueur d'onde

R. Lande, R. Madelon, A. Hairie, A. Fortini

► To cite this version:

R. Lande, R. Madelon, A. Hairie, A. Fortini. Spectroscopie des composés $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ par modulation de longueur d'onde. *Revue de Physique Appliquée*, 1977, 12 (3), pp.483-485. 10.1051/rphysap:01977001203048300 . jpa-00244200

HAL Id: jpa-00244200

<https://hal.science/jpa-00244200>

Submitted on 1 Jan 1977

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
8.824 — 0.644

SPECTROSCOPIE DES COMPOSÉS $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ PAR MODULATION DE LONGUEUR D'ONDE (*)

R. LANDE, R. MADELON, A. HAIRIE et A. FORTINI

Laboratoire de Physique du Solide de l'Université de Caen, 14032 Caen Cedex, France

(Reçu le 25 octobre 1976, accepté le 3 décembre 1976)

Résumé. — On a effectué des mesures de réflectivité par modulation de longueur d'onde entre 1,3 et 5,5 eV sur des couches épitaxiales de $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ de composition variable $0 < x < 0,62$. Les résultats, qui sont en bon accord avec les mesures antérieures d'électroréfectance sur ces composés, prouvent que cette méthode de modulation peut être d'un grand intérêt malgré ses difficultés techniques.

Abstract. — Reflectivity measurements by wavelength modulation have been performed from 1.3 to 5.5 eV on epitaxial layers of $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ with different compositions ($0 < x < 0.62$). The results, in good agreement with earlier electroreflectance measurements on these compounds, prove the great interest of this method in spite of its technical difficulties.

1. Introduction. — L'analyse de la structure de bande des composés semi-conducteurs par spectroscopie différentielle s'est considérablement développée au cours des dernières années. Il existe différentes méthodes pour obtenir la dérivée d'un spectre de transmission ou de réflexion. Leurs avantages et leurs inconvénients sont discutés dans l'ouvrage de M. Cardona [1]. La modulation externe de longueur d'onde qui est, du moins en principe, la plus simple et la plus naturelle, a été beaucoup moins utilisée que les méthodes de modulation interne, techniquement plus faciles à mettre en œuvre. Elle présente néanmoins l'avantage primordial de fournir la dérivée du spectre directement plutôt que par l'intermédiaire de la dérivée d'une propriété du matériau.

Les composés binaires III-V et pseudobinaires III-III'-V et III-V-V' ont été surtout étudiés en électroréfectance [2, 3, 4, 5] piézoréfectance [6], thermoréfectance [7]. Dans les pseudobinaires, les résultats de spectroscopie présentent habituellement une évolution régulière des singularités de Van Hove avec la composition.

C'est ce dernier type d'étude que nous avons entrepris sur les composés $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$, en modulation de longueur d'onde. Ces composés, qui sont d'un grand intérêt technique, ont été intensivement étudiés en électroluminescence, cathodoluminescence et photo-

luminescence [8, 9, 10, 11, 12], mais n'ont fait l'objet que d'une seule étude en spectroscopie différentielle, par électroréfectance [2].

Le spectromètre à modulation de longueur d'onde réalisé à Caen se caractérise par un dédoublement temporel du faisceau sur une faible partie de sa longueur, ce qui assure l'élimination presque parfaite des structures dérivées parasites. L'appareil fournit la dérivée du spectre par voie analogique. Il doit faire l'objet d'une publication ultérieure.

2. Préparation des échantillons et résultats. — Les échantillons de $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ ont été fabriqués à la Radiotechnique-Compelec, Usine de Caen, par croissance épitaxiale en phase liquide, sur substrat de GaAs. L'épaisseur des couches était de l'ordre de 40 à 50 μ , les dimensions transversales utiles d'environ 5 mm. La composition superficielle en aluminium a été mesurée à la sonde de Castaing au Centre National d'Etudes et Télécommunications, Laboratoire de Bagneux.

L'observation de structures en réflexion était largement tributaire du traitement de surface des échantillons. Les meilleurs résultats ont été obtenus après un polissage chimique de 15 secondes dans la solution $3 \text{SO}_4\text{H}_2 + 1 \text{H}_2\text{O}_2 + 1 \text{H}_2\text{O}$, à 50 °C, environ, suivi d'un rinçage à l'eau distillée, puis à l'alcool absolu.

Les spectres de réflexion dérivée obtenus à 80 K sont représentés sur les figures 1 et 2. Les singularités de Van Hove sont indiquées à l'aide des notations habituelles, rappelées figure 3, sur la structure de

(*) Cette étude a été effectuée avec le soutien de la D. G. R. S. T. (contrat n° 73-7-1168).

FIG. 4. — Variations de la position en énergie des singularités de Van Hove, dans les composés $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$, en fonction de la composition x .

[Variation of the energy of Van Hove singularities in $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ compounds, as a function of composition.]

Les déplacements des différentes singularités observées, en fonction de la composition x , sont représentés figure 4. L'énergie E_0 (en eV) de la transition fondamentale $\Gamma_8-\Gamma_6$, croît linéairement avec x selon :

$$E_0 = 1,50 + 1,33 x \quad \text{à } 80 \text{ K}$$

$$E_0 = 1,40 + 1,34 x \quad \text{à } 300 \text{ K}$$

en accord satisfaisant avec Casey et Panish [15] et Berolo et Wooley [2] bien qu'il n'apparaisse pas ici de courbure, dans les limites d'erreur expérimentale, comme l'ont signalé ces auteurs.

Pour les transitions A_3-A_1 l'évolution en fonction de x est par contre, légèrement parabolique. On a obtenu (en eV) :

$$E_1 + \Delta E_1 = 3,23 + 0,375 x + 0,43 x^2 \quad \text{à } 80 \text{ K.}$$

$$E_1 = 3,00 + 0,37 x + 0,49 x^2 \quad \text{à } 80 \text{ K.}$$

Cette fois, le paramètre de courbure est en accord avec la valeur moyenne de 0,45 donnée par Berolo et Wooley [2].

Dans la région 4,5-6 eV, les résultats sont moins nets pour les raisons données ci-dessus. Seule la transition $\Sigma_2-\Sigma_1$ (énergie E_2) est toujours bien visible. On constate sur la figure 4 que l'énergie correspondante E_2 est une fonction linéaire, légèrement décroissante de x .

On a également représenté, figure 3, l'énergie $E_2 + \delta$ de la transition X_5-X_3 , pratiquement indépendante de x , ainsi que les énergies E'_0 et $E'_0 + \Delta'_0$ des transitions $\Gamma_{15}-\Gamma_{15}$, grossièrement linéaires avec x .

Ces différentes structures ont aussi été observées par Berolo et Wooley [2] en électroréflectance.

3. Conclusion. — Les résultats que nous avons obtenus dans l'étude des singularités de Van Hove des composés $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$, en fonction de x , sont en bon accord avec ceux de Berolo et Wooley obtenus en électroréflectance et de Matatagui et Thompson [7] en thermoréflectance.

L'absence de courbure dans la dépendance en x de la transition fondamentale E_0 serait en accord qualitatif avec la théorie de Van Vechten [15], mais dans l'ensemble les résultats obtenus appellent de nouveaux développements théoriques.

Au stade présent, l'intérêt de cette étude se situe essentiellement sur le plan technique puisqu'elle a prouvé que, moyennant quelques raffinements dans la mise au point du spectromètre, la modulation externe de longueur d'onde, qui offre des commodités opératoires indéniables, est tout à fait compétitive avec les autres techniques de modulation.

Remerciements. — Les auteurs remercient la Radio-technique Compelec, à Caen, qui a fourni gracieusement les couches épitaxiales étudiées, et le Centre National d'Etudes des Télécommunications, Laboratoire de Bagneux, qui a bien voulu accepter de mesurer la concentration superficielle d'aluminium.

Bibliographie

- [1] CARDONA, M., « *Modulation Spectroscopy* » (Acad. Press. N. Y. and London).
- [2] BEROLO, O. and WOOLLEY, J. C., *Can. J. Phys.* **49** (1971) 1335.
- [3] THOMPSON, A. G., CARDONA, M., SHAKLEE, K. L. and WOOLLEY, J. C., *Phys. Rev.* **146** (1966) 601.
- [4] CARDONA, M., SHAKLEE, K. L. and POLLAK, F. H., *Phys. Rev.* **154** (1966) 696.
- [5] VISHNUBHATLA, S. S., EYGLUNENT, B. and WOOLEY, J. C., *Can. J. Phys.* **47** (1969) 1661.
- [6] AUVERGNE, D., MERLE, P., ZEIN-ELDIN, A., MATHIEU, H. and NGUYEN VAN MAU, A., *Sol. Stat. Commun.* **17** (1975) 511.
- [7] MATATAGUI, E., THOMPSON, A. G. and CARDONA, M., *Phys. Rev.* **176** (1968) 950.
- [8] KRESSEL, H., NICOLL, F. H., HAWRYLO, F. Z. and LOCKWOOD, H. F., *J. Appl. Phys.* **41** (1970) 4692.
- [9] ALFEROV, Zh. I., GARBUZOV, Dz., KOLYSHKIN, V. I. NINUA, O. A. and TROFIM, V. G., *Sov. Phys. Semi-cond.* **5** (1972) 1228 et 1232.
- [10] JAGDEEP SHAH, MILLER, B. I. and DIGIOVANNI, A. E., *J. Appl. Phys.* **43** (1972) 3436.
- [11] SHUN-ICHI-GOWDA and YVNOSUKE MAKITA, *Appl. Phys. Lett.* **27** (1975) 392.
- [12] BUMELIS, A. J., MALDUTIS, E. K., MATULENIS, A. Yu., SHIMKYAVICHUS, Ch. I., SHIMULITE, E. A., *Sov. Phys. Semi-cond.* **9** (1976) 1081.
- [13] ZUCCA, R., WALTER, J., SHEN, Y. and COHEN, M., *Solid State Commun.* **8** (1970) 627.
- [14] MARCUS GRAY, A., *Phys. Stat. Sol.* **37** (1970) 11.
- [15] VAN VECHTEN, J. A. and BERGSTRESSER, T. K., *Phys. Rev.* **1** (1970) 3351.
- [16] POLLAK, F. H., HIGGINBOTHAM, C. W. and CARDONA, M., *J. Phys. Soc. Japan Suppl.* **21** (1966) 20.