

## EFFET DES DISLOCATIONS SUR LES PROPRIETES ELECTRIQUES ET OPTIQUES DE CdTe

Soumis le 13/11/1997 – Accepté le 29/04/2000

### Résumé

L'effet des dislocations sur les propriétés électriques et optiques de CdTe de type n, pour les faces (111), est un sujet de très grande actualité.

Sur des cristaux non intentionnellement dopés, on introduit des dislocations par microindentation. Les mesures de photoluminescence et de capacité-tension ont permis la constatation d'un phénomène de compensation, d'augmentation du gap et la spécification de la nature des défauts ponctuels existants.

**Mots clés:** Dislocations, microindentation, photoluminescence, mesures électriques, barrière de Schottky, rosette d'indentation.

### Abstract

The subject affecting the effect of dislocations on the electrical and optical properties of (111) faces of n type CdTe is very current. Dislocations were introduced by means of microindentation on nonintentionally doped crystals. Photoluminescence and capacity-voltage (C-V) measurements lead to: a compensation phenomenon, an increase of the bandgap and the specification of the nature of the punctual defects.

**Keywords:** Dislocations, microindentation, photoluminescence, electrical measurements, Schottky barrier, indentation rosette.

**N. BRIHI**  
**K. GUERGOURI**  
Département de Physique  
Faculté des Sciences  
Université Mentouri  
Constantine (Algérie)

Le tellure de cadmium (CdTe) est un semiconducteur qui possède des propriétés optiques et électriques très importantes lui permettant un vaste domaine d'applications. Il est utilisé principalement dans la détection des rayons X et  $\gamma$ , en imagerie médicale, en tomographie de rayons X [1,2] et sert également comme substrat d'épitaxie pour le détecteur infrarouge CdHgTe [3].

La fragilité mécanique du matériau CdTe ainsi que sa mauvaise qualité cristalline sont cependant des problèmes importants à résoudre. Ceci nous a incité à apporter une contribution dans l'étude de l'influence des dislocations sur les propriétés électriques et optiques sur les deux faces polaires Cd (111), Te ( $\bar{1}\bar{1}\bar{1}$ ).

L'étude est entreprise à partir de la déformation plastique par microindentation Vickers. Cette technique nous permet d'introduire de fraîches dislocations dans le matériau.

La caractérisation entreprise dans ce travail a été réalisée à l'aide de la photoluminescence et des mesures électriques capacité-tension (C(V)).

### ملخص

تعتبر دراسة تأثير الإنخلاعات على الخواص الكهربائية والظوئية لبلورة CdTe من نوع n على الوجوه (111) من مواضيع الساعة. ندخل الإنخلاعات عن طريق التشويه اللامرن في بلورة غير مطعمة أصلا. أظهرت أطياف الإشعاع الضوئي و قياسات السعة (C(V)) وجود ظاهرة تعديل المنحنيات و زيادة عرض الحزمة الممنوعة و كذا تحديد طبيعة العيوب النقطية الموجودة.

**الكلمات المفتاحية:** الإنخلاعات، التشويه المجهرى، الإشعاع الضوئي، القياسات الكهربائية، حاجز شوتكي، أثر التشويه المجهرى.

### EXPERIENCES

Des indentations sont réalisées par la méthode de microindentation Vickers avec un poids de 50 g et un temps de pose de 30 s. Les expériences sont réalisées à l'air libre et à température ambiante sur des échantillons de type n ( $n = 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ ) sur les deux faces polaires.

La préparation des échantillons consiste en un polissage mécanique au diamant jusqu'au grain abrasif de 0.5  $\mu\text{m}$ , suivi d'un polissage mécano-chimique au brome-méthanol. Ils sont ensuite rincés au méthanol et à l'eau distillée. Les échantillons ainsi préparés sont alors prêts pour une étude optique par photoluminescence et électrique par C(V).

La morphologie de l'empreinte a été décrite par plusieurs auteurs utilisant soit les etch - pits [4], soit la cathodoluminescence [5]. Ils

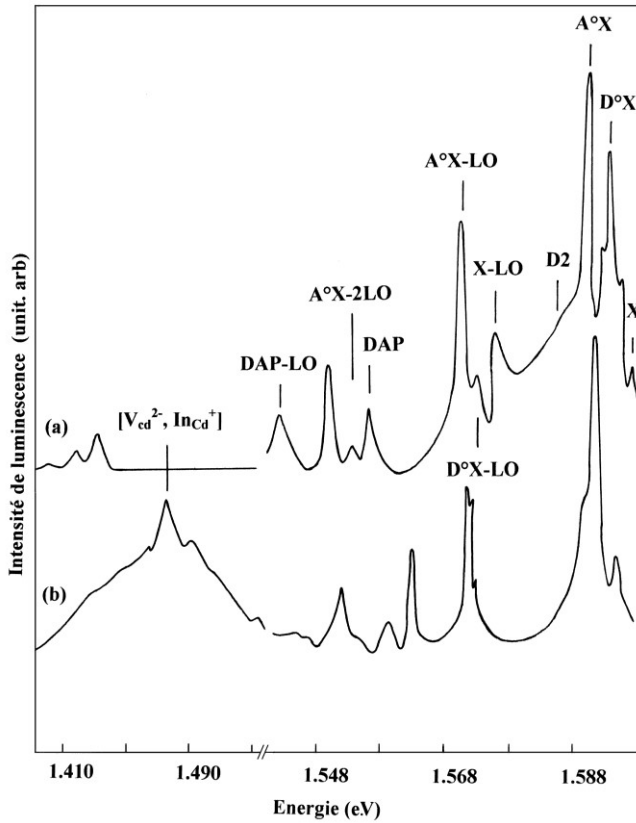
obtiennent tous une image montrant une figure, appelée rosette, constituée d'une zone centrale fortement perturbée (très noire) et de six bras doubles (dont un court et un long).

## RESULTATS

### Photoluminescence

La photoluminescence consiste à analyser la lumière émise par un échantillon préalablement excité par une lumière provenant d'une source laser ou d'une lampe remplie d'un gaz à haute pression et dont l'énergie est supérieure au gap du matériau excité.

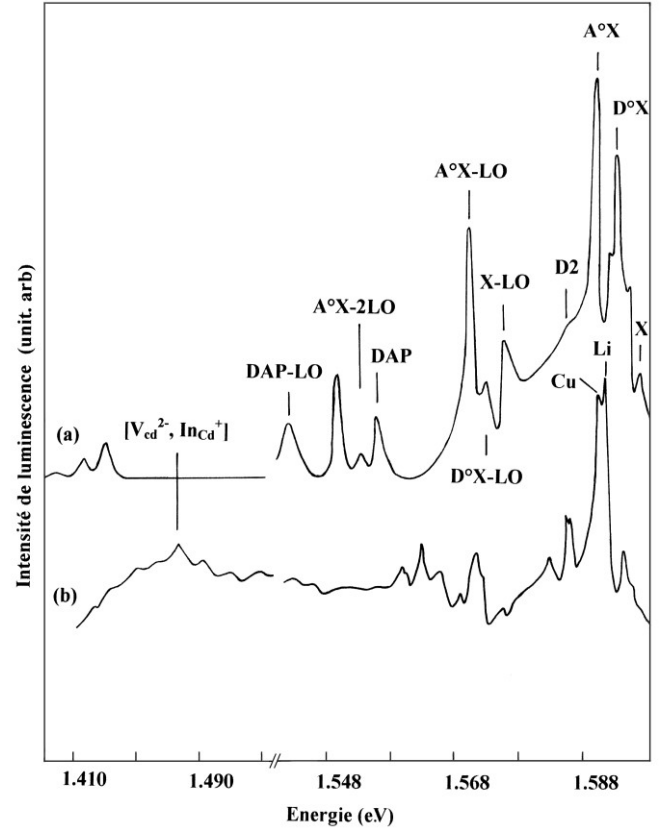
Sur les figures (1a, 2a), nous avons représenté le spectre de photoluminescence obtenu sur notre cristal CdTe non indenté. C'est un spectre tout à fait classique, les pics A°X et D°X représentant respectivement les excitons liés à un accepteur neutre ou à un donneur neutre.



**Figure 1:** Spectre de photoluminescence à basse température pour la face Cd. (a) Etat non indenté, (b) Etat indenté.

L'effet de l'indentation (figures 1b et 2b) est caractérisé par:

- un décalage vers les hautes énergies des raies excitoniques d'une valeur de 3 meV, ce qui entraîne une augmentation de la largeur de la bande interdite de la même valeur.
- une diminution de l'intensité des raies excitoniques due à la création de centres accepteurs compensant les donneurs.
- la disparition du pic de l'exciton libre, liée à l'augmentation de la concentration de défauts de structures causée par la déformation plastique.



**Figure 2:** Spectre de photoluminescence à basse température pour la face Te. Etat indenté. (a) Etat non indenté, (b) Etat indenté.

### Mesures électriques par C(V)

Cette méthode nous a permis de déterminer la concentration de donneurs en utilisant la formule (1) ainsi que les hauteurs de la barrière de Schottky  $\phi_b$  obtenues à partir de l'intersection des droites  $1/C^2-V$  avec l'axe des tensions (Fig. 3 et 4).

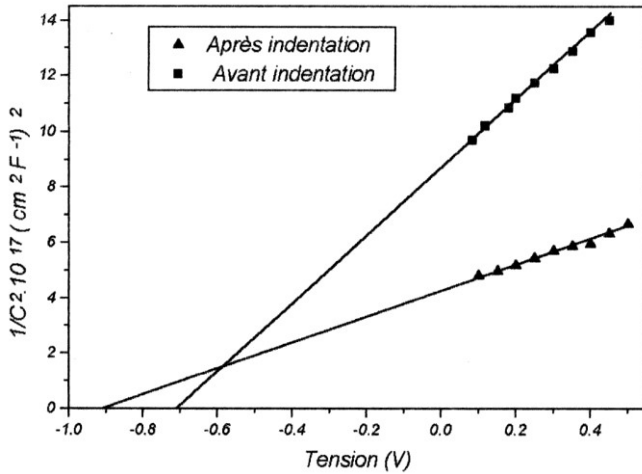
$$N_D - N_A = \frac{2}{A^2 q \epsilon_0 \epsilon_r} \frac{d(1/C^2)}{dV} \quad (1)$$

où  $N_D$ ,  $N_A$ ,  $\epsilon_0$  et  $\epsilon_r$  sont respectivement la concentration des donneurs, la concentration des accepteurs, la permittivité du vide et la constante diélectrique de CdTe.

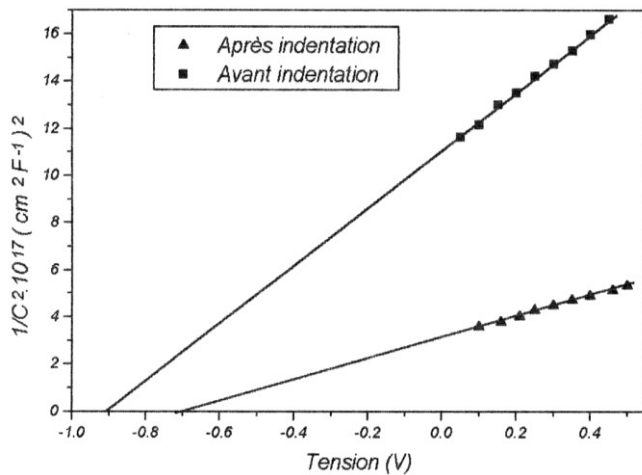
Dans le tableau 1 nous indiquons les résultats obtenus par C(V) sur nos cristaux de CdTe suivant les faces étudiées.

Face	Avant indentation		Après indentation	
	$N_D (10^{14} \text{ cm}^{-3})$	$\phi_b (V)$	$N_D (10^{14} \text{ cm}^{-3})$	$\phi_b (V)$
Cd	1.05	0.73	0.29	0.93
Te	1.1	0.93	0.3	0.72

**Tableau 1:** Mesures électriques avant et après indentation.



**Figure 3 :** Caractéristique  $(1/C^2)$ -V de la face Cd.



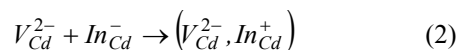
**Figure 4:** Caractéristique  $(1/C^2)$ -V de la face Te.

Nous remarquons que la concentration des donneurs diminue du même ordre de grandeur pour les deux faces, contrairement aux hauteurs de barrières qui varient dans deux sens opposés, c'est-à-dire  $\phi_b$  de la face Cd augmente, et  $\phi_b$  de la face Te diminue.

## DISCUSSION

Les résultats obtenus par photoluminescence sur les échantillons déformés indiquent l'apparition du pic à 1.474 eV. Il a été attribué par Zanio [6] au défaut complexe accepteur ( $V_{Cd}^{2-}, In_{Cd}^+$ ) d'énergie égale à 1.474 eV. Ce dernier est responsable, entre autre, de la diminution de la concentration des donneurs  $N_D$ .

Ceci nous permet d'affirmer que nous sommes en présence d'un phénomène de compensation des donneurs par des défauts intrinsèques introduits par indentation selon la réaction :



L'introduction des dislocations par indentation provoque le déplacement des pics excitoniques vers les hautes énergies, synonyme de l'augmentation de la largeur de la bande interdite. Ce déplacement est généralement expliqué par la substitution de Cd par d'autres impuretés que nous ne pouvons déterminer par les méthodes de caractérisation utilisées. Par ailleurs, le phénomène de compensation a été mis en évidence, par mesure électrique C(V). La variation de  $\phi_b$  est interprétée grâce au modèle d'ancrage du niveau de Fermi (Fermi Level Pinning) qui se résume de la manière suivante: la hauteur de barrière de Schottky  $\phi_b$  est affectée par le défaut majoritaire existant à la surface étudiée.

Si nous prenons la face (Cd), les bras longs de la rosette sont constitués par des dislocations Cd [7], impliquant l'existence de lacunes de Te avec une grande concentration qui provoquent l'ancrage du niveau de Fermi selon leur niveau dans le gap ( $E_{V(Te)} = 0.92$  eV). Cette valeur est en accord avec celle obtenue ( $\phi_b = 0.93$  V).

Pour la face Te, les bras longs de la rosette sont constitués par des dislocations Te, impliquant l'existence de lacunes de Cd avec une grande concentration qui provoquent l'ancrage du niveau de Fermi selon leur niveau dans le gap ( $E_{V(Cd)} = 0.72$  eV). Ceci conduit à un accord parfait avec la valeur de la hauteur de barrière obtenue ( $\phi_b = 0.72$  V).

## CONCLUSION

D'une manière générale, pour le CdTe non intentionnellement dopé ( $n = 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ ) et indenté, l'existence d'états de surface entraîne un phénomène d'ancrage du niveau de Fermi qui conduit à l'apparition de deux hauteurs de barrières de Schottky, suivant la face utilisée. Ceci implique par voie de conséquence, la mise en évidence des dislocations Cd constituant les bras longs de la rosette sur la face Cd et des dislocations Te constituant les bras longs de la rosette sur la face Te.

Le phénomène de compensation, qui est dû essentiellement à la déformation plastique est prouvé par:

- la photoluminescence: apparition du pic ( $V_{Cd}^{2-}, In_{Cd}^+$ ) à 1.474 eV.
- la mesure électrique C(V): diminution de  $N_D$ .

Grâce au déplacement des excitons liés vers les hautes énergies, on a relevé une augmentation de la largeur de la bande interdite  $E_g$  d'une valeur de 3 meV.

## REFERENCES

- [1]- Braun C., Helberg H.W. and George A., *Phil. Mag.* A53 (1986).
- [2]- Sudharsanan R., Parnham K.B. and Karam N.H., *Laser Focus World*, 32, N°6 (1996), p. 199.
- [3]- Guergouri K., Ferah M.S., Triboulet R. and Marfaing Y., *Jour. Crystal. Growth*, (1994), p. 139.
- [4]- Fissel A., Schenk M., *J. of Mater. Sci.*, 3 (1992).
- [5]- Sieber B., Thèse d'état, Université Paris-Sud (1985).
- [6]- Zanio K., "Semiconductors and Semimetals", Academic Press (1978).
- [7]- Rivière A., Sieber B. and Rivière J.P., *Microx. Microanal. Microstruct.*, 2 (1991). □

