

LABORATOIRE D'ELECTRONIQUE  
et de  
TECHNOLOGIE DE L'INFORMATIQUE

Laboratoire Microélectronique  
Physique

DEFAUTS NATIFS ET DEFAUTS CREEES

PAR IMPLANTATION IONIQUE

DANS LE TELLURE DE ZINC

J.P. ROCHE - M. DUPUY - J.C. PFISTER

Il est connu que l'efficacité et la dégénérescence de dispositifs électroluminescents sont souvent reliées de façon étroite à la présence de défauts dans le matériau. Si l'on considère le cas d'une diode électroluminescente dont la jonction a été réalisée par implantation ionique, les défauts peuvent être classés en (a) défauts natifs créés lors de la croissance du cristal et (b) défauts créés par implantation ionique, qui peuvent évoluer au cours de traitements thermiques ultérieurs. Ces deux types de défauts ont été analysés dans le tellure de zinc implanté au bore ( $100 \text{ keV} - 2 \cdot 10^{14}$  et  $10^{15}$  ions. $\text{cm}^{-2}$ ) et recuit à  $550$ ,  $650$  et  $750^\circ\text{C}$  pendant 30 minutes. Chaque recuit a été réalisé sous pression partielle de zinc afin d'éviter l'élimination du zinc du matériau. Les échantillons ont été examinés au microscope électronique à balayage (MEB) et en transmission (MET). Pour la MET, des lames minces ont été obtenues par attaque chimique dans le brome-méthanol à 3% de Br.

La figure 1 représente la même plage d'un échantillon de ZnTe visualisé en MEB en mode électrons secondaires I(a) et cathodoluminescence I(b). Des défauts étendus tels que joints de grain (JG), sous-joints de grains (SJG) et joints de macles (JM) sont ainsi visualisés. Ces défauts sont responsables d'une chute brutale du rendement de cathodoluminescence, ce qui permet leur observation.

DEFAUTS NATIFS ET DEFAUTS CREEES PAR IMPLANTATION IONIQUE DANS  
LE TELLURURE DE ZINC

J.P. RICHE - M. DUPUY - J.C. PFISTER\*

Laboratoire d'Electronique et Technologie de l'Informatique  
Centre d'Etudes Nucléaires de Grenoble.  
\*Département de Recherche Fondamentale - CEN/GRENOBLE

La technologie actuelle de tirage de cristaux de ZnTe ne permet pas l'obtention des monocristaux parfaits. Divers défauts ont été étudiés par microscopie électronique en transmission (MET) et par microscopie électronique à balayage (MEB) en mode cathodoluminescence : joints de grains, sous-joints de grains, macles. Les sous-joints de grains, constitués de dislocations à caractère coin, sont du type symétrique ou dissymétrique. Les joints de macle ont des plans  $\{111\}$  comme joints cohérents et  $\{110\}$  comme joints incohérents.

Des implantations ioniques de bore ( $100 \text{ keV} - 2 \cdot 10^{14}$  et  $10^{15}$  ions.  $\text{cm}^{-2}$ ) ont été réalisées sur ces cristaux, puis suivies de recuits isochrones (30 minutes) sous pression partielle de zinc à  $550$ ,  $650$  et  $750^\circ\text{C}$ . La nature des défauts a été déterminée en MET : ce sont des boucles de Frank ( $b = \frac{1}{3} \langle 111 \rangle$ ) interstitielles dont la taille varie entre  $20 \text{ \AA}$  (échantillon non recuit) et  $180 \text{ \AA}$  (recuit à  $750^\circ\text{C}$ ). La MET a aussi été utilisée pour réaliser des profils de concentration de défauts en fonction de la profondeur. On constate que pour une même implantation ( $2 \cdot 10^{14}$  ions.  $\text{cm}^{-2}$ ), le pic de défauts se déplace vers l'intérieur du cristal à mesure que la température de recuit s'élève ( $400 - 1000$  et  $7000 \text{ \AA}$  pour les trois recuits). Un échantillon implanté à  $10^{15}$  ions.  $\text{cm}^{-2}$  et recuit à  $750^\circ\text{C}$  a son pic de défaut à  $3800 \text{ \AA}$ . Tous ces résultats sont expliqués à partir d'un modèle qui tient compte de la coalescence des défauts et qui considère la surface de l'échantillon comme source principale de lacunes. Au cours des recuits, la migration des lacunes provoque l'annihilation progressive des défauts d'implantation. L'ajustement de certains paramètres du calcul à l'ordinateur conduisent à donner la valeur de  $2 \text{ eV}$  comme énergie de formation des lacunes.

L'analyse par MET a montré qu'en général, les joints de grains ne contiennent pas de dislocations. Par contre, les sous-joints de grains sont composés de dislocations à caractère coin (joint de flexion pure), de vecteurs de Burgers  $\frac{1}{2} \langle 110 \rangle$ . Un exemple est représenté sur la figure 2. Les joints de macles cohérents sont du type classique (plan  $\{111\}$ ). La croissance des macles par la génération de marches donnent naissance à des joints incohérents dont les plans sont du type  $\{110\}$  perpendiculaires au joint cohérent. Un joint de macle est souvent associé à un sous-joint de grain. Aussi, on peut penser que le contraste de cathodoluminescence n'est pas dû au joint de macle lui-même mais à la présence de dislocations dans le joint distribuées de façon variable. Cela rend bien compte du contraste non uniforme des joints de macle observé sur la figure 1(b).

Après implantation au bore, les défauts créés ont été identifiées comme étant des boucles de Frank ( $b = \frac{1}{3} \langle 111 \rangle$ ) de nature interstitielle (Fig. 3). Leur taille et leur concentration évolue au cours des recuits de 20 Å (échantillon non recuit) à 180 Å (recuit 30 minutes - 750°C). Des profils de concentration de défauts en fonction de la profondeur ont été réalisés. On associe alors à chaque boucle de Frank un nombre d'interstitiels en divisant la surface de la boucle par  $8 \text{ Å}^3$  qui représente la surface d'un interstitiel. Les résultats sont portés sur la figure 4. On constate que, pour une même implantation ( $2.10^{14}$ ), le pic de défauts se déplace vers l'intérieur du cristal à mesure que la température de recuit s'élève. Par extrapolation, nous avons déduit le profil de défauts initial que nous avons assimilé à une exponentielle (profil 20°C). Pour un même recuit (750°C), le pic de défauts pour une implantation à  $10^{15} \text{ ions.cm}^{-2}$  est plus près de la surface (3800 Å) que celui correspondant à une implantation à  $2.10^{14} \text{ ions.cm}^{-2}$ .

L'interprétation de ces résultats a été faite à partir d'un modèle qui considère la surface de l'échantillon comme source de lacunes. La migration des lacunes entraîne une élimination progressive des interstitiels. Un exemple de simulation est représenté sur la figure 5. Les courbes correspondant à nos résultats expérimentaux (implantation  $2.10^{14} \text{ ions.cm}^{-2}$ ) ont été renforcées. Si l'on simule un recuit à 750°C pour une implantation de  $10^{15} \text{ ions.cm}^{-2}$  en supposant que l'on a initialement cinq fois plus de défauts interstitiels que précédemment, on s'aperçoit que le pic de défauts est situé à

2600 Å, ce qui n'est pas en accord avec nos résultats expérimentaux. Si l'on suppose que dans cette gamme d'implantation, on a un effet de saturation des défauts, on retrouve nos résultats expérimentaux si l'on prend initialement une concentration de défauts seulement trois fois plus forte (figure 6). Cet effet de saturation de défauts a été confirmé par des mesures de canalisation. Enfin, l'ajustement de certains paramètres du calcul à l'ordinateur conduit à donner une valeur de 2 eV pour l'énergie de formation des lacunes dans le ZnTe.

-----



Fig. 1 : Images MEB (a) électrons secondaires (b) cathodoluminescence



Fig. 2 : Image MET d'un sous-joint de Flexion

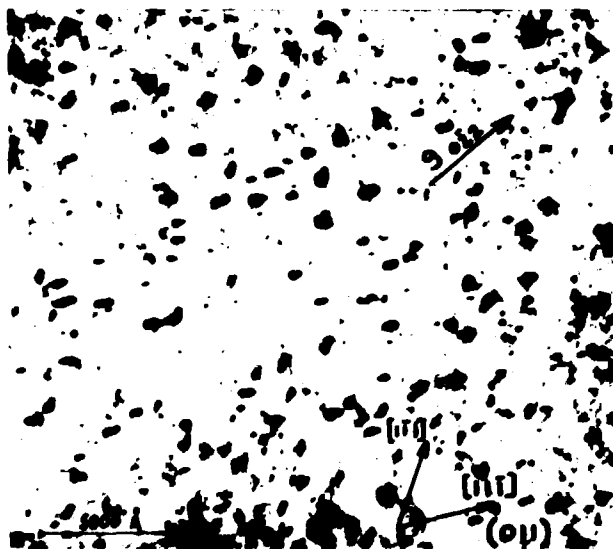


Fig. 3 : Boucles de Frank créées par implantation bore. Recuit 750°C

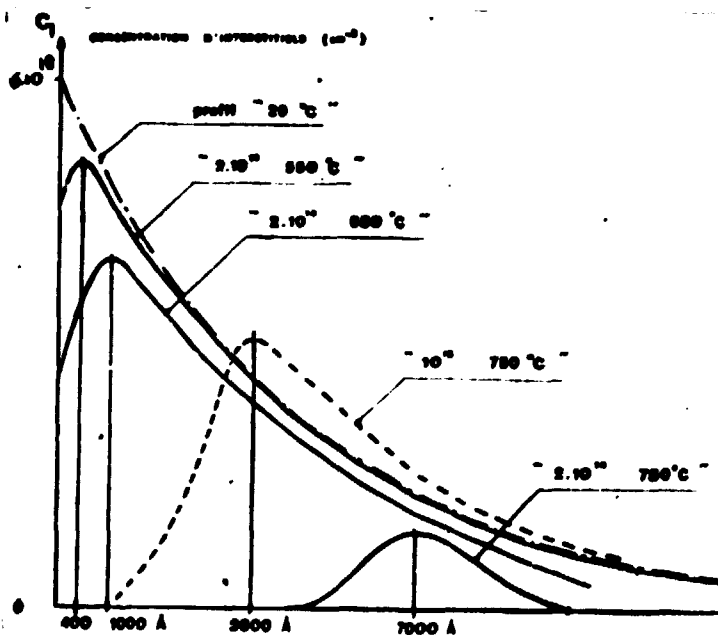


Fig. 4 : Profils expérimentaux d'interstitiels

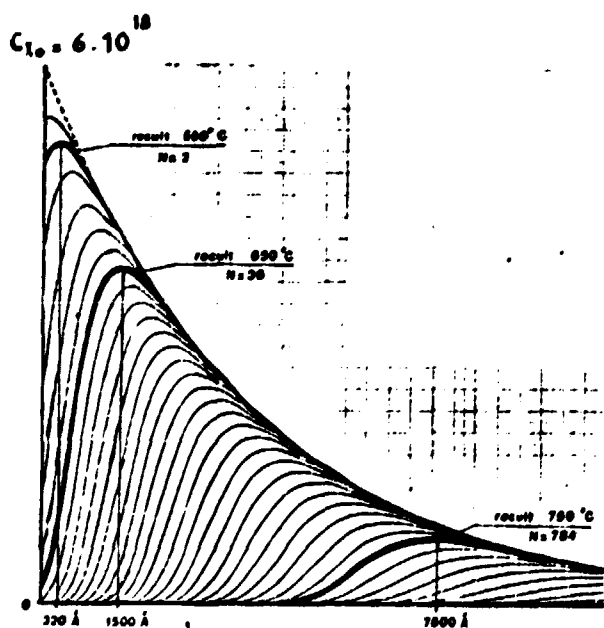


Fig. 5 : Evolution simulée de profils d'interstitiels pour  $2.10^{14}$  ions.cm<sup>-2</sup>

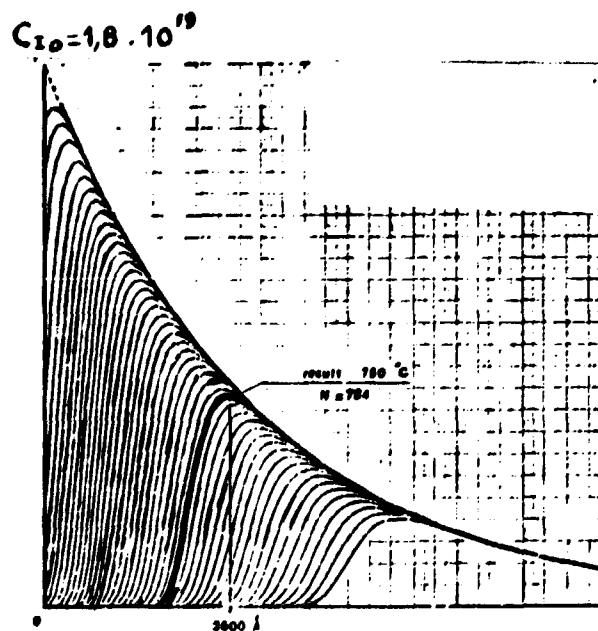


Fig. 6 : Evolution simulée de profils d'interstitiels pour  $10^{15}$  ions.cm<sup>-2</sup>