

Détermination de l'asymétrie de déformation dans le plan de GaAs (001) par diffraction électronique en faisceau convergent

Ludovic Largeau^{a,*}, Frank Glas^a, Gilles Patriarche^a, Eric Le Bourhis^b

^a LPN, CNRS (UPR 20), Route de Nozay, 91460 Marcoussis

^b LMP, CNRS (UMR 6630) Université de Poitiers, SP2MI Téléport 2, 2 Bd Marie et Pierre Curie, BP 30179, 86962 Futuroscope-Chasseneuil cedex

Résumé – Nous avons déterminé le caractère α et β des dislocations contenues dans les bras de rosette autour de nanoindentations faites sur des surfaces (001) de GaAs en développant une méthode d'analyse en diffraction électronique en faisceau convergent. Les paramètres expérimentaux, notamment l'épaisseur, ont été validés par des simulations.

1. Introduction

La connaissance et la compréhension du comportement plastique des semi-conducteurs sont nécessaires au développement des dispositifs optoélectroniques dont les performances peuvent être largement affectées par la relaxation plastique des différentes couches composant ces hétérostructures.

Les tests de nanoindentation sont pertinents pour sonder la plasticité de telles couches minces car la taille de la sonde peut être contrôlée en ajustant la charge appliquée. Il a été montré que lors de tests d'indentation sur des surfaces de GaAs (001), autour de la zone plastique dense, des bras de rosette asymétriques s'étendaient parallèlement aux directions $\langle 110 \rangle$.

D'autre part, lors de la relaxation plastique d'hétérostructures de semi-conducteurs III-V parallèles au plan (001), la densité de dislocations est plus élevée le long de la direction $[110]$ que le long de la direction $[\bar{1}10]$.

Il est connu que, pour le GaAs non dopé, la vitesse des dislocations α (dont le cœur est constitué d'atomes de type V dans la configuration « glide » de mobilité des dislocations) est plus élevée que la vitesse des dislocations β (dont le cœur est constitué d'atomes de type III dans la configuration « glide »).

Dans ce travail, nous avons déterminé le caractère α et β des dislocations contenues dans les bras de rosette autour de nanoindentations faites sur des surfaces (001) de GaAs en développant une méthode d'analyse en diffraction électronique en faisceau convergent (CBED).

2. Observations

La méthode développée est basée sur la diffraction en faisceau convergent à 4 ondes. Cette méthode est dérivée de celles proposées par Taftø et Spence [1] pour des lames minces (011) de GaAs et par Lavagne *et al.* [2] pour du ZnSe (001). Les expériences ont été réalisées dans un microscope Philips CM20.

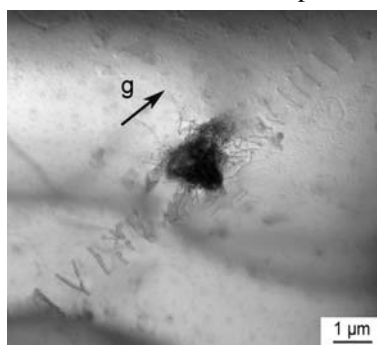


Figure 1 – Image MET champ clair montrant les demi-boucles de dislocations dans le bras de rosette le plus long, après recuit à 500°C. $g = 220$. Indentation réalisée avec une force appliquée de 10 mN sur une surface non désorientée de GaAs (001).

Nous avons tout d'abord réalisé une série de nanoindentations à température ambiante que nous avons recuites. Après avoir identifié les dislocations formant les bras de rosette asymétriques autour des indentations (figure 1), nous avons réalisé les expériences de CBED au voisinage de ces indentations. Ceci nous a permis de déterminer les directions précises de propagation des dislocations et donc le caractère polaire de celles-ci.

La méthode est basée sur la nature (constructive ou destructive) des interférences produites dans le disque de diffraction 200 ou $\bar{2}00$ entre ces réflexions et des réflexions faibles de plus hauts indices (figure 2).

* Auteur à contacter : ludovic.largeau@lpn.cnrs.fr – Tel : 01 69 63 61 74

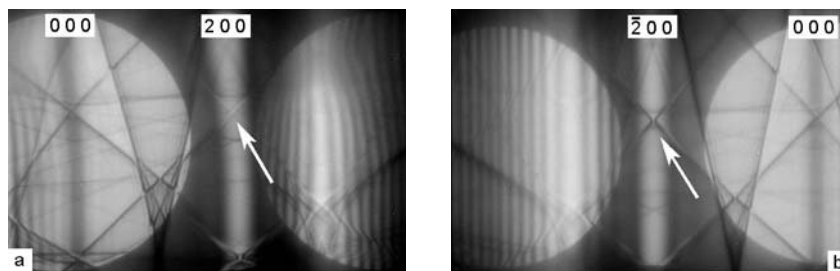


Figure 2 – Clichés CBED expérimentaux (a) interférence constructive (croix blanche) dans le disque 200 avec les réflexions 200, $\bar{7}71$ et $\bar{9}71$ en condition de Bragg et (b) interférence destructive (croix noire) dans le disque $\bar{2}00$ avec les réflexions $\bar{2}00$, $\bar{7}71$ et $\bar{9}71$ en condition de Bragg.

Nous avons comparé nos clichés expérimentaux à des simulations. Nous discuterons des paramètres pris en compte pour ces simulations. En particulier, nous avons observé que le contraste de la croix dans le disque $\bar{2}00$ peut changer complètement en fonction de l'épaisseur de la lame mince. Nous avons donc déterminé précisément l'épaisseur de notre échantillon au voisinage des indentations à l'aide d'expériences de CBED en deux ondes (onde transmise et onde diffractée 220). Cette mesure a été elle-même validée en calculant, depuis les valeurs extraites, la distance d'extinction de la réflexion 220.

Nous avons ainsi pu déterminer sans ambiguïté le caractère α des dislocations formant les bras de rosette les plus longs.

3. Conclusion

Nous avons développé une méthode de détermination de la polarité sur des vues planes de GaAs (001) basée sur la diffraction électronique en faisceau convergent à quatre ondes. Nous avons validé cette méthode par des simulations et la détermination expérimentale de l'épaisseur de l'échantillon par diffraction électronique en faisceau convergent en deux ondes. Nous avons ainsi pu déterminer la nature des dislocations formant les bras de rosette autour de nanoindentations ainsi que celles qui sont responsables de l'anisotropie de relaxation plastique pour des structures épitaxiées selon la direction (001).

4. Références

- [1] J. Taftø et J.C.H. Spence, *A simple method for the determination of structure factor phase relationships and crystal polarity using electron diffraction*, J. Appl. Cryst. **15** (1982) 60
- [2] S. Lavagne, C. Roucau, C. Levade et G. Vanderschaeve, *Crystal polarity of sphalerite semiconductor compounds, as determined by convergent-beam electron diffraction experiments on plan-view (001) samples: application to ZnSe crystals*, Phil. Mag. A **82** (2002) 1451
- [3] L. Largeau, G. Patriarche, F. Glas et E. Le Bourhis, *Absolute determination of the asymmetry of the in-plane deformation of GaAs (001)*, J. Appl. Phys. **95** (2004) 3984