

CBED quantitatif pour la mesure de la déformation de couches épitaxiées

F.Houdellier^{1*}, C.Roucau¹ et M.J.Casanove¹
¹ CEMES-CNRS, 29 rue J. Marvig, 31055 Toulouse, France.

Résumé – La diffraction électronique en faisceau convergent (CBED) est une technique permettant de remonter à l'état de contrainte d'un échantillon cristallin avec une très grande sensibilité. Elle reste malgré tout extrêmement sensible aux phénomènes de relaxation élastique de la contrainte pouvant entraîner des modifications importantes des contrastes observés. Ceci est particulièrement vrai dans le cas des couches épitaxiées préparées en section transverse ou en vue plane.

1. Introduction

Les couches minces épitaxiées sur substrat subissent une déformation élastique, liée à la différence de paramètres cristallins, accompagnée ou pas de ségrégation chimique. Ces différents effets influent directement sur les propriétés des couches minces épitaxiées (caractéristiques d'émission dans les puits quantiques, transport et anisotropie magnétique ...). Ils sont au coeur d'une recherche tant fondamentale qu'appliquée visant à ajuster les propriétés par la maîtrise des états de déformation des systèmes épitaxiés. Les techniques expérimentales susceptibles de déterminer les paramètres cristallins des couches épitaxiées fournissent pour la plupart des informations partielles car moyennées sur l'ensemble de la couche ou sur sa surface. La microscopie électronique en transmission (MET) permet de sélectionner précisément les zones étudiées, ce qui est un avantage considérable en présence d'hétérogénéités. En particulier des mesures d'une très grande précision peuvent ainsi être obtenues par la diffraction électronique en faisceau convergent (CBED) [1,2].

2. Résultats

Nous avons choisi de présenter des mesures de déformation des systèmes épitaxiés SiGe/Si et GaInAs/GaAs. Les diagrammes CBED observés sur des sections transverses révèlent une très forte déformation dans la couche et nous observons dans le substrat des modifications du profil des lignes de HOLZ en fonction de la distance de la zone diffractante à l'interface couche/substrat (Figure 1). Nous interprétons cette évolution comme caractéristique d'un phénomène de relaxation de la contrainte épitaxiale de la couche du à la faible épaisseur de l'échantillon [3,4]. Cet effet dépend de nombreux paramètres, tels que l'épaisseur de l'échantillon, le misfit et la distance de la zone diffractante à l'interface couche/substrat. Afin de remonter à la déformation, nous avons développé une nouvelle méthode de mesure basée sur la combinaison de calculs par éléments finis et de simulations dynamiques (Figure 1) obtenues grâce à un formalisme original développé au cours de ce travail appelé formalisme TDDT (Théorie dynamique dépendante du temps) [5].

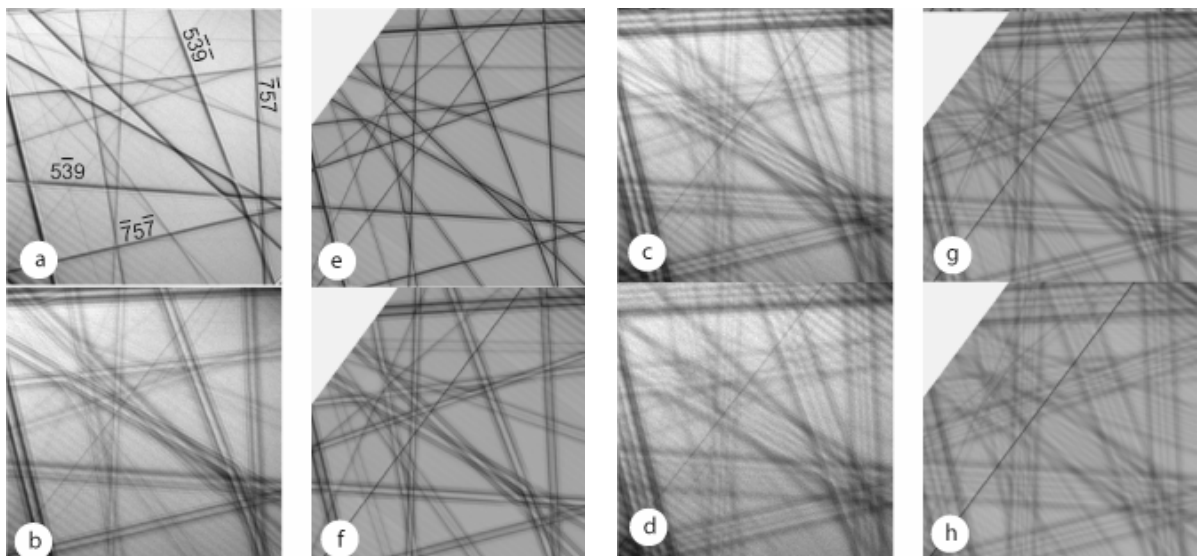


Figure 1 : Etude d'une couche de $\text{Si}_{0.8}\text{Ge}_{0.2}(27\text{nm})/\text{Si}$ \rightarrow a,b,c,d = clichés CBED expérimentaux obtenus dans le substrat de silicium (axe [230] et épaisseur constante $t=300\text{nm}$) pour des profondeurs sous l'interface $x=450, 250, 200, 150\text{ nm}$ respectivement. e,f,g,h = simulations TDDT associées

Les effets de relaxation élastique ont pu aussi être mis en évidence dans les échantillons préparés en vue plane (Figure 2). Leur état de déformation a pu être déterminé à partir du CBED, et les simulations TDDT rendent bien compte de tous les contrastes observés [6].

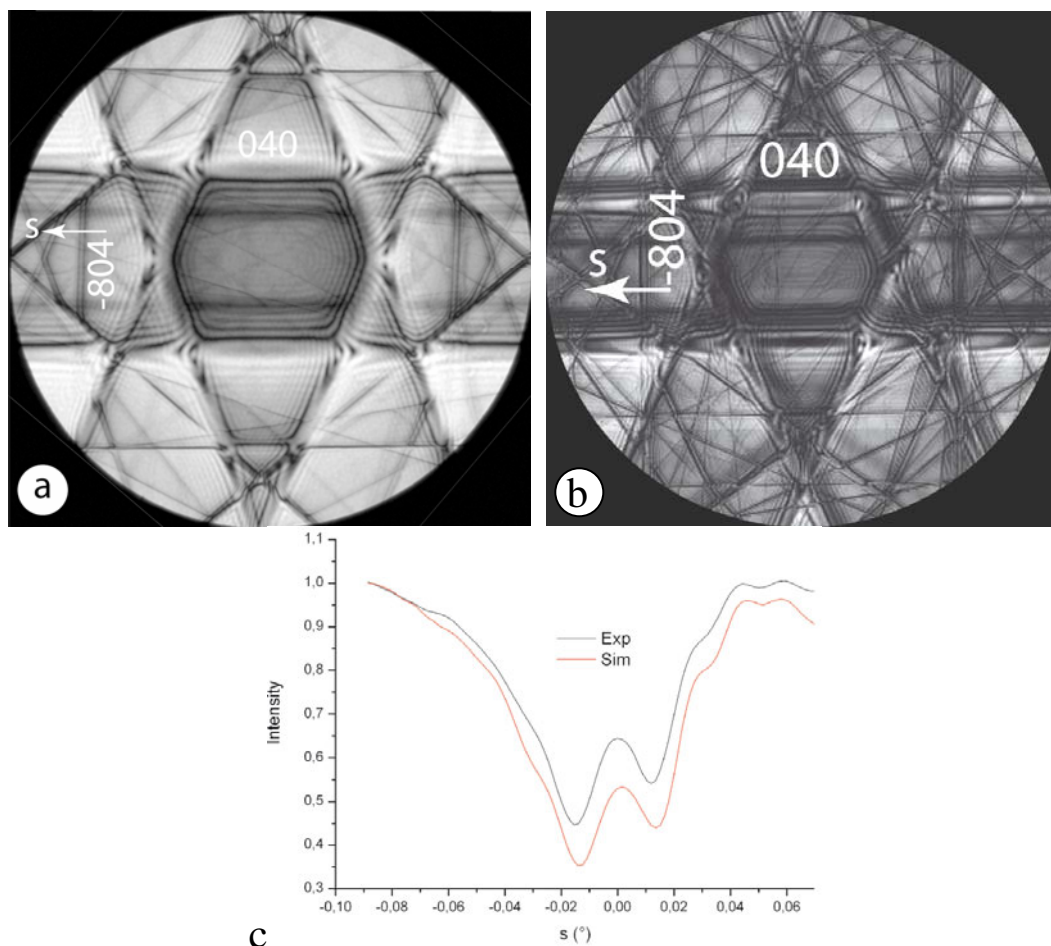


Figure 2 : Cliché LACBED observé dans l'axe [102] d'un échantillon de $Ga_{0.8}In_{0.2}As(10nm)/GaAs$ observé en vue plane préparé par attaque chimique → a= cliché expérimental, b=simulation TDDT associée, c= comparaison entre le profil expérimental et simulé de la ligne -804

Ce travail a grandement bénéficié de l'utilisation d'un microscope TEM-FEG doté d'un correcteur d'aberration sphérique et d'un filtre en énergie GIF-tridien → le SACTEM-Toulouse.

3. Références

- [1] J.C.H.Spence and J.M.Zuo *Electron Microdiffraction*. Plenum Press (1992)
- [2] J.M.Zuo *Ultramicroscopy Volume 41 (1992) pages 211-223*
- [3] F.Houdellier, C.Roucau, L.Clément, J.L.Rouvière and M.J.Casanove *Ultramicroscopy, Volume 106, Issue 10, August-September 2006, Pages 951-959*
- [4] F.Houdellier, C. Roucau and M.-J. Casanove *Microelectronic Engineering, Volume 84, Issue 3, March 2007, Pages 464-467*
- [5] F.Houdellier, A.Altibelli,C.Roucau and M.J.Casanove *submitted to Ultramicroscopy*
- [6] F.Houdellier, D.Jacob, C.Roucau et M.J.Casanove *accepted in Ultramicroscopy*