

Etude par microscopie électronique en transmission à correcteur d'aberrations des systèmes Si_{1-x}Ge_x/Si dédiés à la microélectronique

Florian Hüe^{a,*}, Martin Hýtch^a, Jean-Michel Hartmann^b, Yann Bogumilowicz^c
Alain Claverie^a

^a Cemes, CNRS, 29 rue Jeanne Marvig, 31055 Toulouse

^b CEA-Leti, CEA-G, 17 rue des Martyrs, 38054 Grenoble

^c STMicroelectronics, 850 rue Jean Monnet, 38921 Crolles

Résumé – Cet article présente l'apport important de la microscopie électronique en transmission pour l'étude des contraintes dans les dispositifs à base de semi-conducteurs. Nous présentons ici une étude qui porte sur des couches de Silicium de différentes épaisseurs épitaxiées sur des substrats virtuels de Si_{1-x}Ge_x de différentes compositions. Les différentes composantes de déformations sont calculées par Géometric Phase Analysis (GPA) à partir d'images haute résolution. Les couches de Silicium en tension biaxiale sont en compression dans l'axe de croissance. Pour vérifier nos mesures, des simulations par éléments finis couplées à du calcul multislice d'image HREM ont été réalisées.

1. Introduction

Dans le domaine de la microélectronique, les nanostructures à base de SiGe sous contrainte sont d'un intérêt technologique majeur pour les dispositifs à venir. Les contraintes dans les couches actives augmentent la mobilité des porteurs par rapport au massif, et donc les performances des dispositifs [1]. La microscopie électronique à haute résolution est un outil de choix pour l'étude de telles nanostructures. La méthode d'Analyse de Phase Géométrique (GPA) [2,3] nous permet de cartographier les déformations à l'échelle nanométrique à partir d'image HREM. De plus, le fait de travailler avec un correcteur d'aberration sphérique nous permet d'obtenir des images HREM d'une meilleure résolution avec un meilleur rapport signal sur bruit et ainsi nous pouvons mesurer de petites déformations avec une précision allant jusqu'à 0,1% [4]. La figure 1 présente une image haute résolution d'une couche de 10 nm de Silicium sur un substrat virtuel de Si₆₀Ge₄₀ obtenue sur le SACTEM de Toulouse avec le calcul de la déformation associée dans la direction de croissance, ϵ_{zz} .

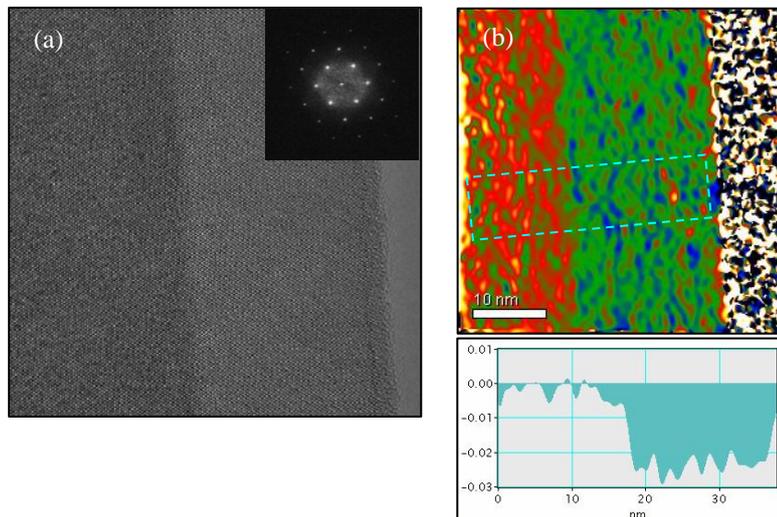


Figure 1 – (a) Image haute résolution avec sa FFT associée (b) ϵ_{zz} calculés à partir des rangées (111) et (1-11) et son profil.

Notre étude a porté sur une série d'échantillons ayant différentes compositions de substrat virtuel et ayant, pour chaque gamme de composition, des épaisseurs de couche de Silicium variables. Etant donné la finesse des échantillon TEM (quelques dizaines de nanomètres) nous avons dû prendre en compte le phénomène de relaxation de lame mince pour interpréter nos résultats.

* Auteur à contacter : hue@cemes.fr – Tel : 05 62 25 78 31

2. Simulations des déformations

Pour simuler les déformations de lames minces, nous avons effectué des modélisations par éléments finis [5] en utilisant la théorie de l'élasticité.

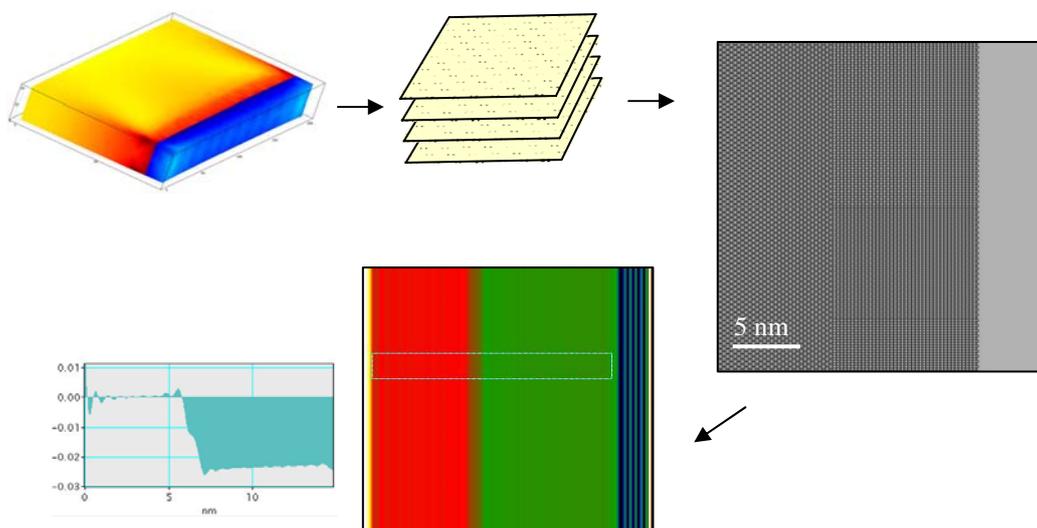


Figure 2 – (a) Simulation d'une lame mince (b) supercell (c) simulation JEMS (d) ϵ_{zz} par GPA avec son profil

La figure 2 montre la démarche que nous avons suivie pour simuler des images HREM pour ensuite les comparer à nos résultats expérimentaux. Tout d'abord nous simulons par éléments finis (FEM) la déformation de l'échantillon aminci, puis nous créons une supercell correspondant au cristal de SiGe dans l'axe [110] avec les déplacements de chaque atome, et finalement nous effectuons une simulation par JEMS pour recréer l'image HREM [6].

3. Conclusion

Notre étude s'étant portée sur une grande quantité d'échantillons, nous avons pu voir l'évolution de la contrainte en fonction de différents paramètres : la concentration en Germanium dans le substrat virtuel, l'épaisseur de la couche de Silicium mais également l'épaisseur de l'échantillon TEM. Cela nous a permis également de montrer la grande utilité de la microscopie haute résolution pour mesurer avec précision les contraintes à l'échelle atomique, mais également pour cartographier les déformations avec une précision de 2 nm.

4. Références

- [1] Deleonibus S, Eur. Phys. J.: Appl. Phys. 36 (2006) 197-214
- [2] Hÿtch M J, Snoeck E, and Kilaas R, Ultramicroscopy 74 (1998) 131-146
- [3] GPA Phase, a plug-in for DigitalMicrograph (Gatan), available from HREMResearch Inc.: www.hremresearch.com
- [4] Houdellier F and Hÿtch M J, Microelectronics Engineering 84 (2007) 460–463
- [5] Tillmann K, Lentzen M, and Rosenfeld R, Ultramicroscopy 83 (2000) 111-128
- [6] JEMS software: P. Stadelmann, <http://cimewww.epfl.ch/people/Stadelmann/jemsWebSite/jems.html>