



Analyse in-situ de nanostructures III–V par spectroscopies électroniques (AR-XPS, REELS)

Christine Robert-Goumet

Institut Pascal, Equipe « Surfaces et Interfaces, Clermont-Ferrand

Contact: christine.robert-goumet@uca.fr

Résumé

L'étude in situ de nanostructures III-V par spectroscopies électroniques constitue un outil essentiel pour comprendre, contrôler et optimiser les mécanismes de croissance à l'échelle nanométrique. Dans ce séminaire, nous présenterons une analyse approfondie des procédés de formation de couches minces de GaN, obtenues par nitruration plasma à faible puissance de GaAs, et de nanostructures (nanodots) de $\text{GaIn}_{1-x}\text{N}$ et $\text{GaIn}_{1-x}\text{N}$ obtenues par droplet epitaxy.

En combinant spectroscopies électroniques (AR-XPS, REELS), diffraction d'électrons (LEED) et caractérisations morphologiques et structurales (SEM, AFM, HRTEM), complétées par des modélisations ab initio et cinétiques, nous montrons comment la nature du plasma ou les conditions de nitruration pilotent la phase cristalline, la morphologie et les propriétés électroniques des structures III–N réalisées.

Une première partie centrée sur le cas de la nitridation de GaAs(100) montre que l'utilisation sélective de sources plasma radicalaire (ECR) ou ionique (GDS) permet d'obtenir respectivement des couches planes de GaN hexagonal (w-GaN) ou des nanostructures pyramidales de GaN cubique (zb-GaN). Les spectroscopies électroniques révèlent les mécanismes successifs d'adsorption du N, de formation des liaisons Ga–N et de diffusion/désorption de l'arsenic, conduisant à un modèle cinétique complet décrivant la quasi-saturation du processus.

Une deuxième partie porte sur l'étude in situ de la nitruration de gouttes de Ga déposées sur GaAs(111)A qui met en évidence les conditions optimales pour obtenir des nanodots de GaN de haute densité ($\geq 10^{11} \text{ cm}^{-2}$). Les analyses XPS montrent l'évolution des états chimiques lors de la conversion métal/nitride, tandis que les images HRTEM révèlent la cristallisation en phase cubique lorsque la température est contrôlée. Les simulations Monte-Carlo cinétiques montrent comment la diffusion de l'azote, la dynamique du Ga liquide et le transport de surface gouvernent la formation des nanostructures.

Une troisième partie porte sur la caractérisation in situ de la composition $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}$ dans des gouttes auto-assemblées grâce à la complémentarité XPS–REELS. Cette méthode permet de déterminer précisément la teneur en indium via l'analyse des plasmons et des rapports d'intensité des photoélectrons. Nous avons obtenu une miscibilité homogène In-Ga pour $x < 0,5$ et des comportements complexes pour les fortes teneurs en indium. Cette approche permet le suivi in situ de la composition d'alliages $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}$ sur toute la gamme 0–100 %, ouvrant des perspectives majeures pour la croissance contrôlée de quantum dots d'InGaN.

Ces travaux démontrent l'efficacité des spectroscopies électroniques in situ pour suivre les réactions plasmas, les transitions structurales et les mécanismes atomiques fondamentaux impliqués dans la formation de nanostructures III–V, et ouvrent la voie à un contrôle toujours plus précis indispensable pour les domaines de l'optoélectronique et de la photonique avancée.