

Des boites quantiques dénudées stimulent l'émission UV

Les dispositifs à base de nitrure sont courants dans de nombreux systèmes électroniques ou opto-électroniques (LED blanches, diodes laser bleue…). Le développement de nouveaux matériaux à base d'$Al_x Ga_{1-x}N$ permet en variant x de couvrir un large spectre dans l'ultra-violet, intéressant pour la purification de l'eau ou des surfaces. Si leur croissance par épitaxie est souvent marquée par une forte densité de défauts, la croissance de GaN sur $Al_x Ga_{1-x}N$ donne des boites quantiques qui limitent leur influence et améliorent l'émission UV. Plus surprenant, les chercheurs du CRHEA ont montré qu'après un recuit avec évaporation, la couche de mouillage entre îlots, traditionnelle dans le mode de croissance dit Stransky-Krastonov, disparaît et donne des nanostructures à l'émission UV amplifiée. La compréhension et contrôle de cette évolution supposent la description de la dynamique hors-équilibre, ce qui vient d'être fait en collaboration INSP/InPHY, révélant un nouveau mode de croissance épitaxiale.

Nous avons considéré le dépôt de 1 à 2 nm de GaN sur $Al_{0.5}Ga_{0.5}N$ par épitaxie par jet moléculaire. La croissance suivie par diffraction électronique a révélé la formation de boîtes quantiques puis leur évaporation lente pendant le recuit à haute température. L'analyse par microscopie électronique par transmission a révélé deux configurations. Juste après le dépôt, les boites quantiques sont séparées par une couche de mouillage, comme décrit par le mode Stransky-Krastanov. Mais après recuit, la couche de mouillage s'évapore préférentiellement, débouchant sur des boites quantiques posées sur la surface d'un substrat dénudé. Leur photoluminescence est amplifiée d'un facteur 6 comparé aux boites traditionnelles.

Pour en rendre compte, nous avons décrit le problème à frontière libre posé par l'évolution de la surface par diffusion. La naissance des boites quantiques permet de relaxer la contrainte élastique entre le substrat et le film. En incorporant l'évaporation et l'anisotropie cristalline, nous avons résolu les équations dynamiques non-linéaires basées sur les fonctions de Green élastiques. Avec un film en condition de mouillage avec le substrat, nous avons montré l'existence de trois différents régimes dynamiques fonctions du rapport entre la diffusion et l'évaporation. Le régime de paramètres expérimental rend bien compte des boites quantiques dénudées où le mûrissement aboutit à l'évaporation préférentielle de la couche de mouillage.

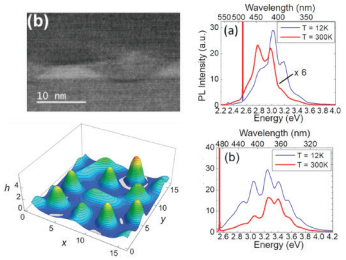

Figure 1
(gauche) image par microscopie de boites quantiques sans couche de mouillage et modélisation de leur croissance ; (droite) comparaison entre la photoluminescence des boites quantiques avec (haut) et sans (bas) couche de mouillage.

Cette étude couplée expérience/théorie permet de comprendre et contrôler les géométries des nanostructures épitaxiées. Le nouveau mode de croissance ainsi révélé, « au-delà » de Stransky-Krastanov, donne lieu à des nanostructures à l'efficacité de photoluminescence accrues, et ouvre la voie à de nouveaux systèmes basés sur des boites quantiques émettant dans l'UV profond.

Référence

"Wetting-Layer-Free AlGaN Quantum Dots for Ultraviolet Emitters"
G. Schifani, T. Frisch, J. Brault, P. ennéguès, S. Matta, M. Korytov, B. Damilano, J. Massies, J.-N. Aqua
ACS Appl. Nano Mater. 3, 4054 (2020)

https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsanm.9b02546

Contact

Jean-Noël Aqua - aqua@insp.jussieu.fr