Atomic layer etching de matériaux III-N

Aroulanda Sébastien[1,2], Patard Olivier[1], Nicolas Defrance[2], Altuntas Philippe[1], Michel Nicolas[1], Pereira Jorge[1], Lacam Cédric[1], Gamarra Piero[1], Delage Sylvain[1], Gaquière Christophe[2], De Jaeger Jean-Claude[2]

1) III-V Lab, 1 Avenue Augustin Fresnel, 91767 Palaiseau, France
2) Institut d'Electronique, de Microélectronique et de Nanotechnologie, Avenue Henri Poincaré, 59652 Villeneuve d'Ascq, France

Contact : sebastien.aroulanda@3-5lab.fr

Résumé :

Les transistors à haute mobilité électronique (HEMT) à base d'hétérostructures de matériaux III-N telles que l'AlGaN/GaN ou l'InAlN/GaN sont reconnus comme d'excellents candidats pour la future génération de composants pour des applications en électronique de puissance et en hyperfréquence[1]. Les HEMT GaN étant naturellement à l'état passant, ils sont dits normally-on. Pour des raisons de sécurité, de facilité de conception et afin de réaliser des fonctions logiques, il est nécessaire de disposer de HEMT normally-off, c'est-à-dire bloqués lorsque la tension de grille est nulle. Plusieurs techniques existent pour rendre un HEMT normally-off telles que l'implantation d'ions fluor sous la grille[2] ou le recess[3], qui consiste à graver localement la barrière au niveau de la grille. Ces gravures, généralement réalisées à l'aide de plasma chlorés[4], sont cependant trop rapides (de quelques nm à plusieurs dizaines de nm/min) et donc peu précises pour graver des épaisseurs de quelques nanomètres. Elles peuvent générer de nombreux défauts dans le matériau, ce qui conduit à une dégradation des performances.

Pour remédier à ce problème, nous avons développé une gravure de type Atomic Layer Etching (ALE). L'ALE est une technique de gravure inspirée de l'Atomic Layer Deposition où l'on cherche à graver couche atomique par couche atomique. Pour cela, l'échantillon à graver est exposé, de façon cyclique, à un premier plasma dont le but est de modifier chimiquement la surface à graver, puis à un second plasma pour ne graver que la couche précédemment modifiée. L'efficacité de l'association des deux plasmas est mesurée par la synergie[5]. Cette grandeur est calculée à partir de l'épaisseur gravée par cycle (EPC) lorsque les plasmas sont associés et lorsqu'ils sont réalisés indépendamment l'un de l'autre. L'ALE a été appliquée à la gravure du GaN[5-8] et nous avons cherché à développer un procédé pour graver l'AlGaN et l'InAlGaN.

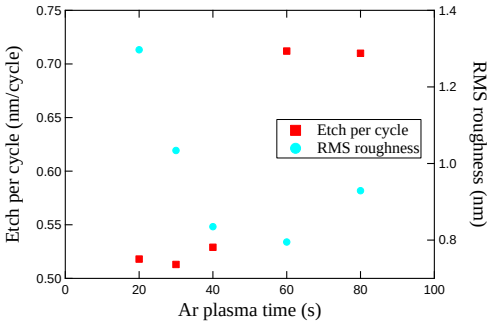

Figure 1. Evolution de l'EPC et de la rugosité en fonction de la durée d'exposition au plasma d'Ar.

Dans notre cas, la méthode développée repose sur une alternance entre une exposition à un plasma Cl_2/Ar et un plasma Ar. Nous avons étudié l'influence de différents paramètres sur l'épaisseur gravée par cycle et la rugosité de surface tels que la durée d'exposition au plasma d'argon, les débits de gaz, la puissance RIE ou encore le nombre de cycle. La figure 1 présente les valeurs d'EPC et de rugosité mesurée par AFM en fonction de la durée d'exposition au plasma d'Ar après 15 cycles. On peut voir que l'EPC présente deux plateaux, l'un vers 0,51 nm/cycle (environ 2 couches atomiques) pour des durées d'exposition inférieures à 40 s, et l'autre vers 0,71 nm/cycle pour des durées supérieure à 60 s. La rugosité atteint un minimum de 0,795 nm (0,570 nm avant gravure) pour une durée d'exposition de 60 s. Les synergies calculées pour des durées d'exposition de 20 et 60 s sont respectivement de 70 et 55%. Au vu des résultats obtenus, nous prévoyons d'appliquer ce procédé pour la réalisation de HEMT.

Références :

[1] R. Aubry *et al.,* IEEE Electron Device Lett. 37, 629 (2016).
[2] Y. Cai *et al.*, IEEE Electron Device Lett. 26, 435 (2005).
[3] W. Lanford *et al.*, Electron. Lett. 41, 449 (2005).
[4] M.E. Lin *et al.*, Appl. Phys. Lett 64, 887 (1994).
[5] K.J. Kanarik *et al.*, J. Vac. Sci. Technol. A 35, 05C302 (2017).
[6] X. Zhao, "Electric Field Engineering in GaN High Electron Mobility Transistors", Master's thesis, Massachusetts Institute of Technology (2008).
[7] T. Ohba *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. 56, 06HB06 (2017).
[8] C. Kauppinen *et al.*, Vac. Sci. Technol. A 35, 060603 (2017).