

# Modélisation de la variation de gaz et de puissance au cours du temps dans les plasmas Cl<sub>2</sub>/Ar

Tojo Rasoanarivo<sup>1,2</sup>, Cédric Mannequin<sup>1</sup>, Fabrice Roqueta<sup>2</sup>, Mohamed Boufnichel<sup>2</sup>,  
Ahmed Rhallabi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Nantes Université, CNRS, Institut des Matériaux de Nantes Jean Rouxel, IMN, 44322 Nantes, France

<sup>2</sup> STMicroelectronics Tours, 10 Rue Thalès de Milet, 37100 Tours, France

Le procédé Atomic Layer Etching est un procédé de gravure cyclique permettant de structurer des motifs dans un matériau avec une précision à l'échelle atomique. Un cycle ALE repose classiquement sur deux demies-réactions : la modification de l'extrême surface du matériau par l'exposition à un plasma réactif et l'activation permettant le retrait de la surface modifiée par le biais d'un bombardement ionique. L'ALE implique un changement de l'environnement plasma au cours du temps.

La maîtrise de la dynamique du plasma peut être un défi pour le contrôle de l'ALE. Dans cette étude, nous présentons un modèle global dynamique étudiant le comportement cinétique d'un plasma chlore-argon (Cl<sub>2</sub>/Ar) au cours du temps, en nous concentrant sur les phénomènes des transitions d'étapes de l'ALE.

Le modèle dynamique global est basé sur la résolution temporelle des équations de continuité des espèces neutres et chargées créées dans les décharges en prenant en compte les modes pulsés des gaz et de la puissance utilisés dans le procédé ALE. En couplant ces équations de continuité à celles de neutralité et de bilan de puissance, les simulations nous permettent de déterminer l'évolution temporelle des paramètres clés du plasma tels que la densité et la température électroniques, les densités d'espèces neutres et ioniques ainsi que leurs flux en fonction de la puissance et des variations temporelles des débits de gaz. Un focus sur les phases de transition plasma Cl<sub>2</sub>→Ar et Ar→Cl<sub>2</sub> nous permet une meilleure compréhension des phénomènes d'interaction plasmas surfaces suivant les scénarios ALE typiques où la puissance et les gaz sont pulsés et cycliques. Ces analyses fines permettent une meilleure optimisation pour aboutir à une gravure uniforme, couche par couche, tout en minimisant les dommages et la sur-gravure.

Dans des conditions de procédés de gravure à basse pression, l'étude de la transition de plasma Cl<sub>2</sub> vers Ar, de l'étape de modification à l'étape d'activation, a permis de mettre en avant l'existence d'un temps minimum requis pour changer la composition de gaz. Pour des temps de basculement plus courts, nous observons un délai d'extinction des précurseurs chlorés dû aux phénomènes cinétiques du plasma. Les espèces chlorées présentent également des temps de résidence longs qui peuvent être supérieurs au temps de basculement. Ceci est dû principalement aux mécanismes de recombinaison aux parois.

Il est possible d'augmenter la puissance source RF durant l'étape d'activation, ce qui permet d'augmenter l'ionisation du plasma pour un meilleur bombardement ionique. Cette transition abrupte engendre un sursaut énergétique des électrons étalé sur une durée qui est de l'ordre des temps caractéristiques de collisions inélastiques.

Ce travail permet de mieux comprendre le comportement dynamique des plasmas pendant les processus ALE et peut offrir des conseils pour optimiser les paramètres opératoires afin d'améliorer la précision et la sélectivité de gravure. Les travaux futurs viseront à coupler le modèle cinétique de plasma Cl<sub>2</sub>/Ar à celui de gravure de GaN par procédé ALE.

Ce travail est réalisé dans le cadre d'une thèse CIFRE en collaboration entre l'IMN et STMicroelectronics.

**Année de thèse : 2**

**Mots clés : Plasma, cinétique, modélisation, procédés**