

Torche plasma micro-ondes à pression atmosphérique : Application au dépôt d'oxydes

*Christelle Dublanche-Tixier, Yoan Gazal, Pascal Tristant, Christophe Chazelas,
Cédric Jaoul, Christophe Le Niniven*

*SPCTS, UMR CNRS 7315, Université de Limoges, Ester Technopole
16, rue Atlantis, 87068 Limoges Cedex, France.
courriel : tixier@ensil.unilim.fr*

La CVD assistée par plasma ou PECVD permet de s'affranchir des températures généralement élevées nécessaires à la réaction de dépôt de la CVD classique. Outre ce premier avantage, la PECVD à pression atmosphérique (AP-PECVD) permet quant à elle de s'affranchir de systèmes de pompage coûteux, de diminuer les temps de mise en œuvre, tout en laissant entrevoir la possibilité d'une production en ligne. Néanmoins, étant donné la forte diminution des libres parcours moyens des espèces actives, une bonne maîtrise de la réaction est nécessaire afin d'éviter la formation de poudres en phase gazeuse en compétition avec la formation du dépôt. Depuis maintenant une bonne dizaine d'années, les travaux sur les procédés PECVD à pression atmosphérique connaissent un essor considérable. Différentes sources peuvent être utilisées, BF, RF, MW, pulsées ou non, pour toutes sortes de dépôt, mais majoritairement des oxydes.

Nous nous intéresserons ici aux sources micro-ondes qui fonctionnent toutes selon le même principe : elles ne comportent pas d'électrodes puisque les micro-ondes sont guidées le long du dispositif et transmettent directement leur énergie aux électrons du gaz plasmagène. Ces sources peuvent être divisées en deux grandes catégories : les cavités résonantes, les torches semi-métalliques ou métalliques. Après une brève description de ces sources, nous nous focaliserons sur les torches. Celles-ci génèrent un plasma qui s'étend à l'air libre, mais un confinement est possible. Après avoir passé en revue, les différentes variantes possibles, ainsi que leurs applications, nous étudierons plus particulièrement la torche à injection axiale développée par M. Moisan et al. [1] et qui a été largement caractérisée par Jonkers et al. [2], Alvarez et al., Rodero et al. [3]. Cette torche a été utilisée comme source d'espèces pour des études du plasma, mais aussi pour des applications de dépollution gazeuse et pour la réalisation de films minces.

Ainsi, au SPCTS, nous étudions les possibilités de cette torche en PECVD depuis maintenant une dizaine d'années (thèses de Claire Tendero (2005), Syed Salman Asad (2009), Xavier Landreau (2012) et Yoan Gazal (prévue en 2015)). Un dispositif spécifique a été développé. Dans un premier temps, le couplage des micro-ondes au plasma a été optimisé en s'appuyant sur des simulations à l'aide du logiciel CST microwave studio® (collaboration avec le LPGP) combinées à des mesures expérimentales : la géométrie du réacteur a alors été adaptée de manière à minimiser la puissance réfléchiée. Dans un second temps, la réalisation de films d'oxydes a été développée.

Le premier oxyde étudié a été la silice, oxyde largement connu, dont les applications sont très nombreuses (microélectronique, emballage, ...) et dont les précurseurs sont d'utilisation relativement simple pour un dépôt à l'air. Le but était d'atteindre une qualité proche de celle obtenue par PECVD sous pression réduite. Les précurseurs testés sont le TMS (tétraméthylsilane) et le HMDSO (hexaméthylidisiloxane) avec l'argon comme gaz plasmagène. La torche a été utilisée à l'air libre, sans confinement de l'atmosphère environnante. Le substrat, du silicium, est maintenu fixe devant cette torche. Nous présenterons ici l'étude paramétrique réalisée ainsi que l'étude des premiers instants de croissance, qui a permis de contrôler la croissance de plots de taille

nanométrique. La température du substrat s'est avérée être un paramètre-clé qui influence le mode de croissance des films et leurs propriétés structurales. Une vitesse de croissance optimale de 450 nm/min a été obtenue.

Nos travaux actuels portent sur le dépôt de TiO_2 dont les propriétés multiples (indice de réfraction élevée, constante diélectrique élevée, pouvoir photocatalytique) suscitent toujours autant d'intérêt dans la littérature ainsi que sur le co-dépôt $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$. Le précurseur du titane est le TTIP (tétraisopropoxide de titane), celui retenu pour le silicium est le HMDSO. Nous verrons que le précurseur TTIP impose une plage de paramètres plus restreinte en comparaison de HMDSO du fait de sa grande réactivité et donc sa propension à former des poudres. La structure et la morphologie des films de TiO_2 optimisés ont été caractérisées. Enfin, en jouant sur la distance torche-substrat, il est possible d'obtenir deux familles de co-dépôts $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$: l'une qui ne permet pas de discerner a priori SiO_2 de TiO_2 à l'échelle de la dizaine de nanomètres et l'autre constituée de particules de TiO_2 emprisonnées dans une matrice de silice. La mouillabilité et le pouvoir photocatalytique de ces films ont été quantifiés.

Suite à la présentation de ces différents résultats, une discussion sur les avantages et inconvénients de la TIA pour la réalisation de films minces, ainsi que sur les problématiques restant à résoudre pour une meilleure compréhension du procédé sera proposée.

Références

- [1] M. Moisan, G. Sauve, Z. Zakrzewski, and J. Hubert, 1994, *Plasma Sources Sci. & Technol.*, 3, 584-592.
- [2] J. Jonkers, J.M. deRegt, J.A.M. van der Mullen, H.P.C. Vos, F.P.J. de Groote, and E.A.H. Timmermans, 1996, *Spectrochim. Acta Part B-Atomic Spectros.*, 51, 1385-1392.
- [3] R. Alvarez, A. Rodero, M.C. Quintero, A. Sola, A. Gamero, and D. Ortega, 2005, *J. Appl. Phys.*, 98 093304.