

# UTILISATION DU VIDE DANS LES PROCÉDÉS LIQUIDES DE MICROFABRICATION DE MEMS

*Irina Stateikina, Ph.D.*  
*MiQro Innovation Collaborative Centre – C2MI*  
*45 boulevard de l'Aéroport*  
*Bromont (QC) Canada J2L 1S8*

## Résumé

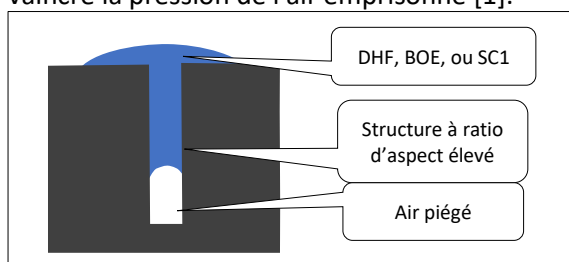
Dans les microsystèmes électromécaniques (MEMS), la fabrication de structures avec rapport d'aspect élevé (RAÉ) est essentielle. Les traitements liquides de ces structures, tels que le nettoyage ou la gravure chimique, représentent un défi pour la fabrication de MEMS où l'élimination des résidus et/ou des oxydes à l'intérieur des structures est nécessaire. Les méthodes classiques se sont révélées inadéquates pour permettre aux produits chimiques d'atteindre le fond de telles structures. Cet article examine l'utilisation d'une méthode d'immersion liquide avec amorçage sous vide pour introduire des produits chimiques ou de l'eau de rinçage dans les structures ayant un RAÉ avant une étape de gravure d'oxyde et un séchage sous vide pour éliminer efficacement tous les liquides de ces structures.

## Définition du problème

Les structures avec un rapport d'aspect élevé font partie intégrante du traitement des MEMS. Dans certains cas, avec l'intégration 3D, les vias traversant le silicium (Through Silicon Vias - TSV) peuvent atteindre un rapport d'aspect de 110:1 [1-2]. Cependant, même dans les cas plus communs de ratio d'aspect de 30:1, la capacité des produits chimiques liquides à atteindre le bas de ces structures diminue et, dans le cas de structures à parois latérales hydrophobes, devient presque impossible [3]. Par conséquent, les résidus ou contaminants restant dans ces structures peuvent affecter les étapes suivantes ainsi que les performances finales du dispositif. [4-7].

Dans les structures approchant un rapport d'aspect au-delà de 30:1, la dynamique physique dans les tranchées/vias devient trop difficile à surmonter. Avec l'augmentation de la profondeur, une grande quantité d'air peut être emprisonnée au fond, empêchant la pénétration du liquide [8].

La difficulté à faire pénétrer les liquides dans les structures à RAÉ provient de plusieurs facteurs : tension de surface du liquide, pression du liquide à son approche et pression de gaz de l'air trappé [9] (voir Fig. 1). La tension de surface du liquide est une caractéristique de la chimie, telle que HF dilué (Diluted Hydrofluoric Acid - DHF), BOE (Buffered Oxide Etch) ou SC1. Des modifications de la tension de surface de ces produits chimiques peuvent nécessiter l'introduction de surfactants, ce qui pourrait affecter leurs performances. De plus, le simple fait de réduire la tension de surface grâce à l'utilisation de surfactants ne permet pas toujours au liquide de vaincre la pression de l'air emprisonné [1].



**Figure 1:** Illustration de l'air emprisonné par le liquide dans une structure à haut rapport de forme

Pour surmonter ce phénomène, l'air à l'intérieur du système doit être éliminé afin de ne pas rester piégé sous la surface du liquide.

Une fois que le remplissage avec les produits chimiques mentionnés ci-dessus est réussi, le défi supplémentaire consiste à sécher complètement les structures à rapport d'aspect élevé. L'évaporation du liquide de ces structures est plus difficile car la vapeur d'eau doit s'échapper de zones restreintes. Ces structures de largeur restreinte et à haut rapport d'aspect rendent le séchage beaucoup plus difficile [10-12].

### **La solution offerte par le C2MI**

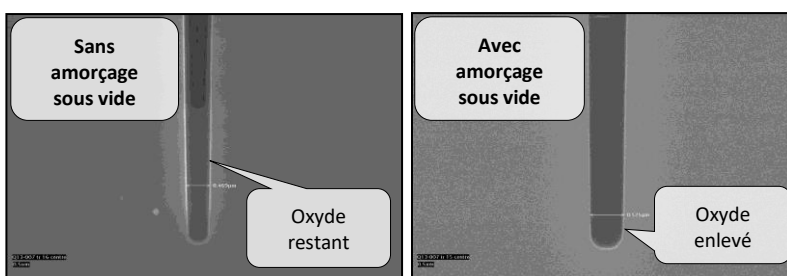
Pour améliorer l'amorçage et le séchage des structures avec rapport d'aspect élevé dans la fabrication de MEMS, des modules spécialement conçus ont été installés dans un banc de traitement humide Akrion GAMA. Ces modules (voir Fig. 2) peuvent atteindre un vide de 7 Torr. Le processus d'amorçage/séchage est entièrement automatisé et les paramètres de procédé sont ajustables à l'aide de recettes.



**Figure 2:** Image d'un module d'amorçage sous vide sur un banc humide Akrion GAMA

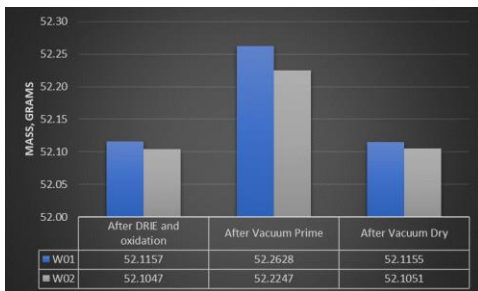
Des tranches tests ont été utilisées pour évaluer le processus d'amorçage sous vide sur des structures ressemblant à celles trouvées dans la fabrication de MEMS. Ces tranches d'ingénierie comprenaient des tranchées d'une largeur de  $0,5 \mu\text{m}$  avec un rapport de forme jusqu'à 50: 1 et un oxyde thermique d'une épaisseur de 100 nm crû sur les parois des tranchées.

Les tranches ont ensuite été traitées avec et sans étape d'amorçage sous vide avant une gravure au HF dilué. Les résultats de la gravure d'oxyde dans les tranchées avec rapport d'aspect élevé sont illustrés dans les images MEB de la Fig. 3. Sans étape d'amorçage sous vide, de l'oxyde était toujours présent au fond de la tranchée après la gravure. En revanche, lorsqu'une étape d'amorçage sous vide a été faite en premier, la gravure d'oxyde était complétée à travers toute la structure.



**Figure 3:** Images au MEB du fond des tranchées après gravure de l'oxyde dans le HF dilué avec et sans amorçage sous vide.

Une série d'essais a été réalisée pour évaluer l'efficacité du module de séchage sous vide. La masse des tranches test avec structures à rapport d'aspect élevé a été mesurée après amorçage sous vide et après séchage sous vide.



**Figure 4:** Les résultats des mesures de masse des tranches de test après amorçage sous vide et encore après séchage.

Comme illustré sur le graphique de la figure 4, l'amorçage sous vide a été réussi tel qu'indiqué par l'augmentation de la masse des tranches test. L'étape de séchage sous vide ramène la masse des tranches à sa valeur d'origine, confirmant ainsi l'efficacité du séchage.

### Résumé

Des expériences ont été menées sur des modules d'amorçage et de séchage sous vide avec des dispositifs MEMS en 3D. Sans l'étape d'amorçage sous vide, l'oxyde de silicium est resté au bas des structures après la gravure au HF dilué. En utilisant l'amorçage sous vide avant la gravure au HF dilué des tranchées (50: 1), une gravure d'oxyde uniforme a été observée, illustrant ainsi l'efficacité de l'amorçage sous vide dans le traitement liquide des structures à rapport d'aspect élevé. Les tests ont été réalisés pour évaluer la qualité du module de séchage sous vide afin de garantir que tout le liquide peut être éliminé avec succès à la fin du processus. Le succès du séchage a été confirmé en vérifiant la masse des tranches avec et sans étape de séchage sous vide. Globalement, l'introduction de modules d'amorçage et de séchage sous vide dans les procédés en phase liquide améliore de manière significative la qualité de la gravure et du nettoyage des structures à rapport d'aspect élevé essentielles dans la fabrication de MEMS. De plus, les paramètres d'amorçage sous vide et de séchage sous vide peuvent être adaptés à des structures MEMS spécifiques grâce à des recettes de traitement personnalisées garantissant des résultats optimaux.

### REFERENCES:

- [1] Rieker J., Chen G., Kashkoush I., Michel D., Daoust P., I. Stateikina, (2013) Vacuum-Assisted Wet Processing for Advanced 3D Devices, Proceedings from 10th Annual International Wafer-Level Packaging Conference and Exhibition
- [2] Fischer, A.C, et. al. (2011). Fabrication of High Aspect Ratio Through Silicon Vias (TSVs) by Magnetic Assembly of Nickel Wires. Proceedings from IEEE 24th International Conference on MEMS, pp. 37-40.
- [3] Ota, K. & Tsutsumi, A. (2007). Liquid Infiltration Mechanism for Cleaning in Deep Microholes. ECS Transactions, vol. 11 no. 2, pp. 299-306.
- [4] Hughes-Oliver, J., et. al. (1998). Achieving Uniformity in a Semiconductor Fabrication Process Using Spatial Modeling. Journal of the American Statistical Association, vol. 93, no. 441, pp. 36-45.
- [5] Spicer, R. (2011). Wafer Cleaning: The Next Frontier in Semiconductor Fabrication. Solid State Technology, vol. 54, no. 2, pp. 19.
- [6] Butterbaugh, J., et. al. (2000). Yield Enhancement by Cryokinetic Cleaning. Electrochemical Society Proceedings, vol. 99-36, pp. 335-342.

- [7] Park, J., et. al. (2008). A Study of Single-Wafer Process in Metal Contact Hole Cleaning. *Solid State Phenomena*, vol. 134, pp. 177-180.
- [8] Irimia, D. (2008). Capillary Force Valves. *Encyclopedia of Microfluidics and Nanofluidics*, vol. 33, pp. 192-196.
- [9] Ota, K. and Tsutsumi. (2007). Liquid Infiltration Mechanism for Cleaning in Deep Microholes, *ECS Transactions*, vol. 11, no. 2, pp. 299-306.
- [10]Lowe, J. (1990). Variation of Vapor Pressure with Temperature, Penn State University.
- [11]Wiley, J. (2008). *Fundamentals of Mass, Momentum and Heat Transfer*, 5th Edition, Ch. 24 and Ch. 26.
- [12]Wiley, J and Dewitt, D. (2006). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*.