

Cellules à vapeur alcaline microfabriquées à atmosphère contrôlée pour les capteurs atomiques

Linda PEROUX², Andrei MURSA¹, Arthur DEWILDE², Quentin TANGUY¹, Ravinder CHUTANI², Clément CARLE¹, Rémy VICARINI¹, Moustafa ABDEL-HAFIZ¹, Rodolphe BOUDOT¹, Vincent MAURICE², Nicolas PASSILLY¹

¹ Institut FEMTO-ST, 25030 Besançon, France

² IEMN/Centrale Lille Institut, 59650 Villeneuve-d'Ascq, France

nicolas.passilly@femto-st.fr

RESUME

Nous présentons des techniques récemment développées pour former, remplir et sceller des cellules à vapeur alcaline microfabriquées. Ces techniques reposent sur des microstructures de scellement à usage unique, fabriquées au sein des cellules, et pouvant être actionnées par irradiation laser, soit pour isoler les cavités les unes des autres, soit pour les connecter. Ces procédés permettant aux cellules d'être évacuées, remplies et scellées après avoir été entièrement structurées, ouvrent de nouvelles voies pour les dispositifs atomiques miniatures.

MOTS-CLEFS : *cellules à vapeur alcaline, microfabrication, dispositifs atomiques*

1. INTRODUCTION

Les cellules à vapeur alcaline sont des éléments essentiels des dispositifs atomiques compacts tels que les horloges, les magnétomètres, les gyroscopes, ou les électromètres, qui peuvent atteindre des niveaux remarquables de précision et de sensibilité. Les vingt dernières années ont vu un regain d'intérêt pour les cellules à vapeur alcaline avec l'avènement de leur version microfabriquée [1]. Cette dernière, combinée avec la photonique intégrée, a stimulé le développement de dispositifs atomiques sur puce, de faible puissance et faciles à déployer au sein de nouvelles applications, leur conférant d'énormes perspectives. Dans un dispositif à cellule atomique, il est crucial de garantir que l'échantillon atomique sondé évolue dans un environnement bien contrôlé et stable. Les variations de pression interne de la cellule doivent être minimisées pour empêcher toute perturbation de la transition atomique sondée. Dans les horloges atomiques microondes, un gaz tampon est généralement ajouté pour prolonger la durée d'interrogation au-delà du temps de transit. Bien que l'ajout de ce gaz soit bénéfique en termes de stabilité à court terme, il induit un décalage de fréquence de l'horloge proportionnel à la pression du gaz tampon et impose que cette pression soit constante pour garantir la stabilité à long-terme. Dans les références de fréquence optique à microcellules, la présence de contaminants dans la cellule induit un élargissement de la résonance optique qui empêche de bénéficier de la finesse naturelle de la largeur de raie de la transition.

2. CELLULES DE HAUTES PERFORMANCES

Nous avons ainsi développé des cellules à faible perméation, reposant sur des verres de type aluminosilicatés ou borosilicatés protégés par des dépôts d'alumine en couche mince [2]. Leur conjonction nous a permis d'envisager l'hélium comme constituant d'un mélange de

gaz tampon. Ce type de mélange permet d'ajuster, en fonction de ses pondérations, la température pour laquelle la fréquence d'horloge est moins sensible à des variations thermiques. Pour le remplissage, nous utilisons des structures microfabriquées, isolant des réservoirs de gaz disposés au sein des cellules et préalablement remplis, et qui peuvent, après scellement, être ouverts de manière incrémentale par laser pour ajuster les pondérations du mélange. Pour le remplissage alcalin, nous avons proposé des vannes microfabriquées fermantes [3]. Ces dispositifs peuvent être utilisés en association d'un dispensier d'alcalin (Cs ou Rb) solide préalablement positionné dans une cavité du wafer de cellules et connecté par des canaux micro-fluidiques. Ce dispensier a l'avantage de rester inerte aux températures mises en jeu pendant la fabrication des cellules avant son activation par laser une fois la cellule scellée. Ce type de dispensier n'est cependant pas compatible avec tous les gaz et dans ce cas, deux stratégies distinctes ont été mises en place. La première repose sur l'association des deux types de vannes pour remplir séquentiellement l'alcalin puis les gaz tampons. La deuxième implique un banc de remplissage auquel sont connectées des grappes de cellules. Cette dernière approche ouvre de nombreuses perspectives pour purifier l'atmosphère des cellules par un pompage préalable poussé, pour injecter une population alcaline à sélection isotopique (^{87}Rb par exemple), ou pour déposer des couches anti-relaxantes à basse température.



Figure 1 : Exemples de cellules à vapeur alcaline microfabriquées : (a) Vue en coupe d'une vanne fermante consistant en une membrane de verre défléchié par laser sur un canal microfabriqué, (b) Wafer de cellules à réservoirs de gaz tampon entourant la cavité optique (c) Grappe de cellules positionnée sur un banc de remplissage externe avant le scellement laser.

CONCLUSION

Les développements rapportés visent à produire des cellules à vapeur alcaline microfabriquées dont l'atmosphère est contrôlée, offrant une grande flexibilité sur le choix de ses composants, mais aussi pure et stable dans le temps. Ces spécifications sont nécessaires au développement d'horloges atomiques miniatures micro-ondes ou optique, ou à celui de magnétomètres miniatures de grandes performances.

RÉFÉRENCES

- ¹J. Kitching, "Chip-scale atomic devices," *Appl. Phys. Rev.* vol. 5, p. 031302, 2018.
- ²C. Carlé, S. Keshavarzi, A. Mursa, P. Karvinen, R. Chutani, S. Bargiel, S. Queste, R. Vicarini, P. Abbé, M. Abdel Hafiz, V. Maurice, R. Boudot and N. Passilly, "Reduction of helium permeation in microfabricated cells using aluminosilicate glass substrates and Al_2O_3 coatings", *J. Appl. Phys.*, vol. 133, p. 214501, 2023.
- ³V. Maurice, C. Carlé, S. Keshavarzi, R. Chutani, S. Queste, L. Gauthier-Manuel, J.-M. Cote, R. Vicarini, M. Abdel Hafiz, R. Boudot, and N. Passilly, « Wafer-level vapor cells filled with laser-actuated hermetic seals for integrated atomic devices », *Microsystems and Nanoengineering*, vol. 8, p. 129, 2022.