

## Caractérisation de résonateurs à modes de galerie de haut facteur de qualité dans le proche ultraviolet

Georges Perin, Patrice Féron, Stéphane Trebaol  
Univ Rennes, CNRS, Institut Foton – UMR 6082, F-22305 Lannion, France

Dans les dernières décennies, l'utilisation des propriétés uniques de confinement de la lumière dans des résonateurs à modes de galerie a ouvert de nouvelles voies de recherche dans des domaines des sciences tant fondamentales qu'appliquées. De nombreuses réalisations ont été rapportées aux longueurs d'onde télécoms [1] notamment des sources de lumière cohérentes très utiles pour la spectroscopie de précision et la détection de molécules uniques. L'utilisation de microrésonateurs à haut facteur de qualité  $> 10^8$  bénéficierait également aux courtes longueurs d'onde dans le bleu et le proche ultraviolet en particulier pour le développement de sources cohérentes compactes monofréquences [2] ou la génération de peignes de fréquences par mélange d'ondes. L'identification d'un matériau suffisamment transparent pour atteindre de hautes valeurs de facteurs de qualité est une étape préliminaire essentielle. Le travail exposé dans cet article rapporte la fabrication de microsphères en silice et leur caractérisation par une méthode dite de *cavity ring down* permettant de dissocier le facteur de qualité intrinsèque, du facteur de qualité lié au couplage. Nous rapportons un facteur de qualité intrinsèque de  $4,5 \times 10^8$  sur une microsphère en silice pure à une longueur d'onde de 420 nm.

Les microrésonateurs sphériques sont obtenus par fusion de l'extrémité d'une fibre en silice pure présentant un faible taux d'ions hydroxydes ( $< 0,2$  ppm) responsables d'une dégradation de la transparence de la silice par absorption. Les pertes de propagation dans la fibre sont données à 30 dB/km autour de 400 nm fixant une limite haute de  $8 \times 10^8$  au facteur de qualité intrinsèque des microsphères. Préalablement à la formation de la sphère par fusion, la fibre est effilée pour former un taper. Cette étape intermédiaire permet de fixer la quantité de matière apportée pour la fabrication de la sphère et donc de déterminer son diamètre. La figure 1 présente une microsphère d'un diamètre de 275  $\mu\text{m}$  et son dispositif de couplage. La méthode de couplage par onde évanescente choisie pour nos applications est la fibre biseautée [3]. Elle présente l'avantage d'être simplement utilisable et robuste aux courtes longueurs d'onde contrairement au couplage par fibre effilée qui nécessite de réaliser un nanotaper de quelques centaines de nanomètres de diamètre pour déconfiner suffisamment le mode guidé de la fibre.

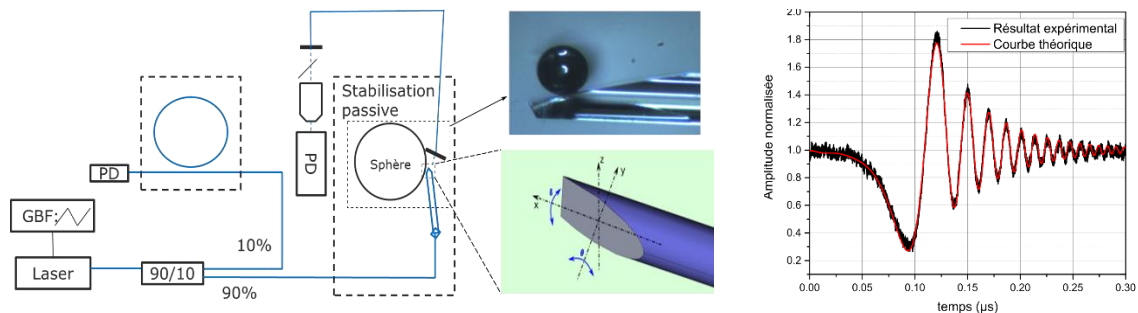


Figure 1. a) Montage de caractérisation de microsphères de silice à l'aide d'une fibre biseautée. b) Signal de *cavity ring down* mesuré pour une distance à la sphère de 40 nm (couplage critique).



JCOM 2022  
FEMTO-ST-ENSMM  
Besançon  
13 juin 2022



La technique retenue pour la caractérisation des facteurs de qualité des microrésonateurs est la méthode de *cavity ring down*, également appelé méthode hybride spectrale/temporelle déjà largement utilisée aux longueurs d'onde télécoms [4]. La technique consiste à balayer rapidement la fréquence du laser sur une résonance de la cavité, c'est à dire plus rapidement que le temps de relaxation de la cavité, cela conduit à obtenir des interférences entre le signal extrait de la cavité et celui transmis directement par la fibre biseautée. Le signal obtenu se compose d'oscillations avec une enveloppe de décroissance exponentielle. Une mesure typique est présentée sur la figure 1(b). Ce signal est fonction de deux grandeurs caractéristiques du résonateur que sont  $\tau_e$  le temps de décroissance du champ dû aux pertes de couplage et  $\tau_0$  le temps de décroissance du champ dû aux pertes intrinsèque du résonateur. Ces deux paramètres permettent d'obtenir le facteur de qualité :  $\frac{1}{Q} = \frac{1}{\pi\nu_0} \left( \frac{1}{\tau_0} + \frac{1}{\tau_e} \right)$ . Pour extraire ces deux paramètres, un ajustement numérique du modèle théorique (courbe rouge sur la figure 1(b)) est réalisé pour correspondre à la mesure expérimentale (courbe noire sur la figure 1(b)). Les détails du modèle sont donnés dans la référence suivante [4].

A l'aide de cette méthode nous avons caractérisé des microsphères en silice pure à 420 nm et avons obtenu des facteurs de qualité de l'ordre de  $2,2 \times 10^8$ , en régime de couplage critique, et intrinsèque de  $4,5 \times 10^8$  très proche de la limite des  $8 \times 10^8$  lié aux pertes de propagation dans la sphère. Ces performances ouvrent la voie à l'étude des microrésonateurs à courtes longueurs d'onde pour le développement de sources laser à faible largeur de raie par contre réaction optique et optoélectronique.

#### Références :

- [1] A. Chiasera, Y. Dumeige, P. Féron, M. Ferrari, Y. Jestin, G. N. Conti, S. Pelli, S. Soria, and G. Righini, "Spherical whispering-gallery-mode microresonators," *Laser & Photonics Reviews*, vol. 4, no. 3, pp. 457–482, 2010.
- [2] P. Donvalkar, A. Savchenkov, and A. Matsko, "Self-injection locked blue laser," *Journal of Optics*, vol. 20, no. 4, p. 045801, 2018.
- [3] V. Ilchenko, S. Yao, and L. Maleki, "Pigtailing the high-Q microsphere cavity: A simple fiber coupler for optical whispering-gallery modes," *Optics letters*, vol. 24, pp. 723–5, 07 1999.
- [4] Y. Dumeige, S. Trebaol, L. Ghisa, TKN Nguyen, H. Tavernier, P. Féron, "Determination of coupling regime of High-Q resonators and optical gain of highly selective amplifiers," *JOSA B*, vol. 25, no. 12, pp. 2073-2080, 2008.