

Micro-usinage à haut rapport de forme par laser femtoseconde

François COURVOISIER

Pour de nombreuses applications aux capteurs et à la biophotonique, le champ de la microfluidique est actuellement l'objet d'intenses recherches. Une technologie clé réside dans la maîtrise du perçage de micro-canaux de haut rapport d'aspect dans le verre, à des diamètres inférieurs à $10\mu\text{m}$. En effet, de tels micro-canaux sont des composants importants à la réalisation de systèmes « lab-on-chip », d'analyse ADN ou encore de systèmes opto-fluidiques. Dans ce but, le micro-usinage par laser femtoseconde a fait l'objet de nombreuses recherches [1] et a été utilisé avec succès pour la réalisation de micro-canaux dans des verres à l'aide de plusieurs approches différentes : usinage dans le vide, irradiation par laser femtoseconde suivie d'une attaque chimique sélective à l'acide fluorhydrique ou micro-ablation sous immersion aqueuse depuis la face arrière de l'échantillon. Cependant, ces techniques sont relativement lentes (typiquement $\mu\text{m/s}$), en particulier en raison du besoin d'un positionnement précis du spot laser sur le front d'ablation.

Dans ce contexte, nous avons développé une nouvelle approche, basée sur les faisceaux de Bessel non-diffractants. Le rapport d'aspect de la zone focale de ces faisceaux est particulièrement élevé (100 dans notre schéma expérimental), contrairement aux faisceaux gaussiens usuellement utilisés (~ 2). Ces faisceaux permettent de réaliser des perçages du verre sans translater l'échantillon par rapport au faisceau, ce qui permet de contourner les problèmes de positionnement du spot laser sur le front d'ablation. Par ailleurs, à haute puissance laser, les faisceaux femtoseconde tendent à multi-filamentar, c'est-à-dire entrent dans un régime de propagation hautement non-linéaire où plusieurs points chauds se forment et conduisent à des dommages de forme difficilement maîtrisable. L'utilisation des faisceaux de Bessel permet justement de s'affranchir des problèmes de multifilamentation car ces faisceaux présentent une propagation non-linéaire exceptionnellement stable à haute puissance.

Nous démontrons ici le perçage direct de micro-canaux dans le verre, à un diamètre de $2\mu\text{m}$ et de rapport d'aspect supérieur à 40. Les flancs de ces canaux sont en outre parfaitement parallèles. Nous rapportons une étude systématique permettant de caractériser les différents paramètres de contrôle que sont : la géométrie de focalisation, le nombre d'impulsions nécessaires, le taux de répétition et la fluence. Cette étude permet d'identifier une fenêtre de micro-usinage fiable et de haute qualité et de comprendre les différents processus physiques conduisant au perçage par les faisceaux de Bessel [2]. Ces recherches ouvrent ainsi de nombreuses perspectives dans le champ du micro-usinage par laser femtoseconde.