

# Modification de matériaux semi-transparents par lasers à impulsions ultra-brèves

P. Sopeña<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire LP3 (UMR7341), CNRS, Aix-Marseille Université, 13009 Marseille, France  
mél: pol.sopena-martinez@univ-amu.fr

Le traitement laser ultrarapide constitue une méthode puissante et largement exploitée pour modifier les propriétés structurelles des matériaux. L'intensité intrinsèquement élevée des impulsions femtosecondes focalisées permet d'altérer aussi bien la surface que le volume de matériaux transparents par absorption multiphotonique. Dans ce cadre, de nombreuses avancées ont été réalisées, telles que le stockage optique 5D dans la silice, la fabrication d'éléments optiques et de guides d'ondes dans le saphir, le soudage laser par transmission ou encore l'élaboration 3D de microstructures polymères [1]. Cependant, la transposition de ces capacités à d'autres matériaux d'intérêt présentant une étroite bande interdite ou une structure interne hétérogène demeure particulièrement complexe, la modification sous-surface étant rarement atteignable. D'une part, la bande interdite étroite (1,12 eV) et l'indice de réfraction élevé (~3,5) des semi-conducteurs tels que le silicium entraînent une délocalisation de la lumière, marquée par des distorsions linéaires et non linéaires ainsi qu'un écran préfocal plasma, limitant ainsi la délivrance d'énergie au foyer [2]. D'autre part, les matériaux hétérogènes (polymères granulaires, céramiques polycristallines ou composites) présentent une structure qui complique la formation d'un foyer sous la surface en raison de la diffusion et la diffraction [3]. Dans ce contexte, je propose plusieurs approches pour compenser ces effets de propagation indésirables afin de permettre une modification volumique dans les semi-conducteurs et les matériaux diffusants. Une telle avancée ouvrirait non seulement de nouvelles possibilités pour l'usinage laser, mais également pour le développement d'applications innovantes en microélectronique, microfluidique ou biomédecine.

Plus précisément, mes recherches passées et actuelles se sont concentrées sur des stratégies de mise en forme temporelle visant à induire des modifications volumiques dans les semi-conducteurs. Ces approches incluent : l'utilisation de trains d'impulsions THz ultracourtes pour le découpage du GaAs [4], d'impulsions nanosecondes pour le soudage par transmission [5], de longueurs d'onde dans l'infrarouge moyen pour le traitement étendu des semi-conducteurs [6], ainsi que de techniques d'optique plasma à double impulsion pour accroître la résolution et la reconfigurabilité des puces en Si [7]. En parallèle, j'ai initié des travaux sur le traitement de matériaux diffusants à l'aide de faisceaux non diffractifs. L'emploi de faisceaux de Bessel personnalisés a notamment démontré son efficacité pour améliorer le perçage de circuits imprimés composites en compensant la diffusion interne [8]. Les perspectives de recherche incluent désormais l'exploration d'approches actives de mise en forme de faisceaux dédiées au soudage laser de céramiques polycristallines.

## Références

- [1] K. Sugioka, Y. Cheng, *Y. Light: Science & Applications* **3**(4), e149–e149 (2014)
- [2] M. Chambonneau, D. Grojo, O. Tokel, F.Ö. Ilday, S. Tzortzakis, S. Nolte, *Laser & Photonics Reviews* **15**(11), 2100140 (2021)
- [3] S. Gigan, et al. *Journal of Physics: Photonics* **4**, 042501 (2022)
- [4] A. Wang, P. Sopeña, D. Grojo, *International Journal of Extreme Manufacturing* **4**(4), 045001 (2022)
- [5] P. Sopeña, A. Wang, A. Mouskeftaras, D. Grojo, *Laser & Photonics Reviews* **16**(11), 2200208 (2022)
- [6] P. Sopeña, N. Ganguly, G. Spühler, A. Selivanau, D. Grojo, *Optics & Laser Technology* **179**, 111419 (2024)
- [7] A. Wang, A. Das, V.Y. Fedorov, P. Sopeña, S. Tzortzakis, D. Grojo, *Nature Communications*, **16**(1), 6733 (2025)
- [8] P. Sopeña, N. Sanner, *Optics & Laser Technology*, under review (2025)

**Statut : permanent**