

Sujet de these – *English version below*

Laboratoire : LP3

Directeur de these: David GROJO

Email: david.grojo@univ-amu.fr

Adresse: Laboratoire LP3, 163 Av. De Luminy, 13009 Marseille

Titre : **Procédés par lasers ultrabrefs : Applications dans l'infrarouge et terahertz**

Description: Les lasers femtosecondes sont à la base des technologies d'écriture 3D permettant l'intégration de nombreuses fonctionnalités micro-optiques, fluidiques et mécaniques à l'intérieur des matériaux diélectriques transparents. Cependant, des défis importants restent à relever pour transposer ces technologies dans le silicium et les semi-conducteurs avec les nouvelles sources infrarouges intenses. La forte non-linéarité de propagation inhérente aux semi-conducteurs limite intrinsèquement la localisation de l'énergie lumineuse à un niveau en dessous des régimes d'écriture dans les configurations conventionnelles. L'émergence récente de solutions à ce problème ouvre de nouveaux champs d'applications notamment dans la photonique sur silicium.

L'objectif principal de cette thèse sera de démontrer de nouvelles modalités pour exalter le niveau de contrôle sur le dépôt d'énergie dans les semiconducteurs et leurs transformations. En particulier, le travail explorera l'introduction de nouvelles longueurs d'onde dans l'infrarouge moyen et/ou THz et des stratégies de mise en forme temporelle des irradiations. Les processus non linéaires attendus avec ces approches jamais appliquées dans le domaine doivent ouvrir de nouvelles possibilités pour façonner les propriétés optiques à l'intérieur des matériaux semiconducteurs (par exemple silicium) avec un contrôle à trois dimensions (3D).

Le/la doctorant-e recruté-e contribuera à aux études sur la compréhension des interactions dans les semiconducteurs et aura la mission de prendre en charge des démonstrations technologiques de fabrication de composants photonique IR et THz (par exemple dispositifs à guides d'onde) par écriture laser 3D dans ces matériaux. Le travail portera également sur la conception d'une source secondaire THz intense pilotées par laser femtoseconde pour les expériences d'interactions et/ou la caractérisation des modifications structurales (défauts induits) et des fonctionnalités inscrites par laser.

Sélection de publications:

- M. Chambonneau, D. Grojo, O. Tokel, F. O. Ilday, S. Tzortzakis, S. Nolte, *In-volume laser direct writing of silicon – Challenges and Opportunities*, **Laser and Photonics Reviews** (2021) 2100140
- Wang, A. Das, D. Grojo, *Temporal-contrast imperfections as drivers for ultrafast laser modifications in bulk silicon*, **Phys. Rev. Res.** 2 (2020) 033023
- Wang, A. Das, D. Grojo, *Ultrafast Laser Writing Deep Inside Silicon with THz-repetition-rate Trains of Pulses*, **Research** (2020) 8149764
- M. Chanal., V. Yu Fedorov, M. Chambonneau, R. Clady, O. Utéza, S.Tzortzakis, D. Grojo, *Crossing the threshold of ultrafast laser writing in bulk silicon*, **Nature Communications** 8 (2017) 773
- M. Chambonneau, Q. Li, M. Chanal, N. Sanner, D. Grojo, *Writing waveguides inside monolithic crystalline silicon with nanosecond laser pulses*, **Opt. Lett.** 41 (2016) 4875
- V. Yu. Fedorov, M. Chanal, D. Grojo, S. Tzortzakis, *Accessing extreme spatio-temporal localization of high power laser radiation through transformation optics and scalar wave equations*, **Phys. Rev. Lett.** 117 (2016) 043902



PhD proposal

Laboratoire : LP3

PhD supervisor: David GROJO

Email: david.grojo@univ-amu.fr

Address: Laboratoire LP3, 163 Av. De Luminy, 13009 Marseille

Titre : **Ultrafast laser processing : Applications in the mid-IR and THz domains**

Description:

Femtosecond lasers are the basis of 3D writing technologies enabling the integration of various micro-optical, fluidic and mechanical functionalities inside transparent dielectric materials. However, important challenges remain to transpose these technologies in silicon and semiconductors with the new intense infrared sources. The strong propagation nonlinearities inherent to narrow gap materials limit the achievable localization of light energy at a level below the permanent modification regimes with conventional laser writing configurations. The recent emergence of solutions to this problem opens up new fields of application, particularly in silicon photonics.

The main objective of this PhD will be to demonstrate new modalities to enhance the level of control of local laser energy deposition in semiconductors and so their transformations. In particular, the work will explore the introduction of new wavelengths in the mid-infrared and/or THz and strategies based on the temporal shaping of irradiations. The nonlinear processes expected with these approaches never applied in this field should open up new possibilities for tailoring the optical properties inside semiconductor materials (e.g. silicon) with three-dimensional (3D) control.

The recruited PhD student will contribute to studies on the understanding of interactions in semiconductors and will take in charge technological demonstrations including the fabrication of IR and THz photonic components (for example waveguide devices) by 3D laser writing in these materials. The work will also focus on the design of an intense THz secondary source driven by a femtosecond laser for interaction experiments as well as the characterization of structural modifications (induced defects) and the functionality of THz-devices inscribed by laser.

Selection of relevant publications:

- M. Chambonneau, D. Grojo, O. Tokel, F. O. Ilday, S. Tzortzakis, S. Nolte, *In-volume laser direct writing of silicon – Challenges and Opportunities*, **Laser and Photonics Reviews** (2021) 2100140
- Wang, A. Das, D. Grojo, *Temporal-contrast imperfections as drivers for ultrafast laser modifications in bulk silicon*, **Phys. Rev. Res.** 2 (2020) 033023
- Wang, A. Das, D. Grojo, *Ultrafast Laser Writing Deep Inside Silicon with THz-repetition-rate Trains of Pulses*, **Research** (2020) 8149764
- M. Chanal, V. Yu Fedorov, M. Chambonneau, R. Clady, O. Utéza, S. Tzortzakis, D. Grojo, *Crossing the threshold of ultrafast laser writing in bulk silicon*, **Nature Communications** 8 (2017) 773
- M. Chambonneau, Q. Li, M. Chanal, N. Sanner, D. Grojo, *Writing waveguides inside monolithic crystalline silicon with nanosecond laser pulses*, **Opt. Lett.** 41 (2016) 4875
- V. Yu. Fedorov, M. Chanal, D. Grojo, S. Tzortzakis, *Accessing extreme spatio-temporal localization of high power laser radiation through transformation optics and scalar wave equations*, **Phys. Rev. Lett.** 117 (2016) 043902

