



Title : Multi-beam ultra-short laser pulses micro-processing

Directeur(s) de Thèse / Supervisors :

Sylvain Lecler sylvain.lecler@unistra.fr

Co-encadrant : Grégoire Chabrol (ECAM Strasbourg-Europe)

Unité(s) d'Accueil(s) / Lab. :

Laboratoire ICube, Equipe Instrumentation et Procédés Photoniques (IPP) ;

ICube Institute, Photonics Instrumentation and Processes (IPP)

<http://icube-ipp.unistra.fr/>

Établissement de rattachement / Organization: ICube - INSA - CNRS

Collaboration(s) :

IREPA LASER, Qiova, MaCEPV

Rattachement à un programme / related projects:

Plateforme C3-Fab, Axe transverse IMEE

Mots clés/ Keywords: Laser process, micromachining, beam propagation

Résumé/ abstract : (1500 caractères au maximum)

Abstract:

The possibility to use light easily and in parallel at sub-micrometer scale for laser processes and optical characterizations, may allow their applications to be extended as in micromachining prototyping or in responding to the increasing requirements of fast characterizations of microsystems. We have been among the first to demonstrate the possibility to focus laser beyond the diffraction limit in the shadow side of micro-beads, and more recently with shaped optical fiber tips. The obtained near-field focused beam, called photonic jet, is a propagative beam concentrated with a FWHM, which may be smaller than a half-wavelength. The effect can be obtained from nano-second pulses to femtosecond ones. However the processes are currently performed point by point and are therefore limited by the mechanical micro-motion speed. The scientific challenge is now to increase the throughput, taking also advantage of the ever increasing available laser power. The development of spatial light modulators adapted to high power laser make it now conceivable.

The objective of the doctoral work will be to demonstrate the possibility to achieve dynamic parallel laser processing at a sub-micrometric scale. The doctoral project will address both the experimental and theoretical aspects, with interactions with industrial partners. It is an opportunity to develop high potential skills in laser with matter interaction, laser beam modelling and laser processes.

Résumé : La possibilité d'utiliser des lasers pour des procédés ou des caractérisations à l'échelle sub-micron, de façon simple ou parallèle permettrait d'étendre leurs applications aux besoins de prototypage en micro-fabrication ou aux besoins croissants de caractérisation rapide de microsystèmes. Nous avons été parmi les premiers à montrer la possibilité de focaliser les lasers au-delà de la limite de diffraction en sortie de billes puis de fibres optiques dont les embouts avaient une forme calculée spécifiquement. Ce faisceau focalisé en champ proche, appelé jet photonique, est propagatif et concentré sur une dimension latérale pouvant être inférieure à une demi-longueur d'onde. Le phénomène fonctionne aussi bien avec des impulsions nanoseconde que femtoseconde. Cependant le procédé, actuellement réalisé point par point est limité par la vitesse de micro-déplacement mécanique. L'enjeu est aujourd'hui d'augmenter drastiquement les cadences d'autant que les puissances disponibles ne cessent d'augmenter. Le développement de modulateur spatiaux de lumière résistants aux hautes puissances le rend désormais envisageable.

L'objectif du travail de thèse sera de démontrer la possibilité de paralléliser des procédés laser dynamique tout en restant à une échelle sub-micron. Le projet doctoral comportera à la fois des approches expérimentales et théoriques, avec des interactions avec des partenaires industriels. Il constitue une opportunité pour le candidat de développer des compétences à fort potentiels dans les domaines de l'interaction laser-matière, la modélisation de la propagation de faisceau et les procédés Laser.

Descriptif du sujet/ More details:

Depuis la découverte du concept il y a quelques années, le nombre de publications sur le sujet n'a cessé de croître, rendant nos travaux, parmi les tous premiers sur le sujet très visibles [1-3].

Au-delà d'un phénomène électromagnétique nouveau initialement obtenu avec des microbilles, le fait d'être capable aujourd'hui de maîtriser la génération de jets photoniques en embout d'une fibre optique [4-6] ouvre un grand nombre d'applications concernant entre autres la micro et nano-gravure laser [3-7], la chirurgie [8], le diagnostic in-vivo intraluminal, la microscopie super-résolue [9], etc. Autant de sujets maîtrisés par notre équipe (ICube-IPP) et **en cohérence avec notre environnement (IREPA Laser, IHU, pôle de compétitivité Biovalley)**.

Ce travail doctoral sera dirigé par Sylvain Lecler, Professeur, HDR depuis 2013, responsable de l'équipe IPP et du thème micro-procédés laser. Il sera co-encadré par Grégoire Chabrol, responsable scientifique de l'ECAM Strasbourg Europe, spécialiste en procédé laser qui a travaillé plusieurs années à Oxford Laser.

Références

- [1] S. Lecler, Y. Takakura and P. Meyrueis, Properties of a three-dimensional photonic jet, *Optics Letters* (30)19 p.2641-2643 , 2005.
- [2] S. Lecler, S. Perrin, A. L-H., and P. Montgomery
Photonic Jet Lens
Nature Scientific report, 9(4725), 2019.
- [3] Abdurrochman A., Lecler S., Mermet F., Tumbelaka B., Serio B. and Fontaine J., Photonic jet breakthrough for direct laser micro-processing using near-IR nanosecond laser, *Applied Optics* (53)31, pp.7202-7207, 2014.

- [4] Zelgowski J., Abdurrochman A., Mermet F., Pfeiffer P., Fontaine J., Lecler S., Photonic jet sub-wavelength etching using shaped optical fiber tip, *Optics Letters*, (41)9, pp. 2073-76, 2016.
- [5] R. Pierron, S. Lecler, J. Zelgowski, P. Pfeiffer, F. Mermet, J. Fontaine, Etching of semiconductors and metals by the Photonic Jet with shaped optical fiber tips, *Applied Surface Sciences*, 418, p.452–455, 2017.
- [6] Large mode area optical fiber for photonic nanojet generation
R. Pierron, G. Chabrol, S. Roques, P. Pfeiffer, J-P. Yehouessi, G. Bouwmans, and S. Lecler, *Optics Letters*, 44(10) p. 2474-2477, 2019.
- [7] R. Pierron, J. Zelgowski, P. Pfeiffer, F. Mermet, J. Fontaine and S. Lecler, Photonic jet: key role of injection for etchings with a shaped optical fiber tip *Optics letters*. 42(14), 2707-2709, 2017.
- [8] Vasily N. Astratov et al. Photonic nanojets for laser surgery, *SPIE Nanotechnology* 2010.
- [9] I. Kassamakov, S. Lecler, A. Nolvi, A. Leong-Hoï, P. Montgomery and E. Hægström, 3D Super-Resolution Optical Profiling Using Microsphere Enhanced Mirau Interferometry, *Scientific report*, 7, 3683, Nature 2017.