

Développement de sources laser ultra-rapides de forte puissance pour l'usinage

Xavier DÉLEN

Groupe Lasers, Laboratoire Charles Fabry,
Institut d'optique Graduate School – CNRS, Palaiseau
xavier.delen@institutoptique.fr

Le micro-usinage laser de haute-précision est une technique qui est maintenant utilisée à grande échelle dans de nombreux secteurs de la production industrielle. Par exemple, il intervient dans le processus de production de nombreux produits électroniques mais aussi dans l'industrie automobile ou dans le secteur du luxe. On peut ainsi répertorier plus d'une dizaine d'opérations de micro-usinage laser dans le processus de production d'un smartphone ou d'une tablette numérique. L'usinage de précision permet aussi de percer les buses d'injection des moteurs diesel et produire ainsi des moteurs plus efficaces et moins polluants que leurs prédécesseurs. L'industrie du luxe l'utilise quant à elle pour lutter contre la contrefaçon ou encore pour produire des pièces mécaniques de haute précision pour l'horlogerie.

Dans ce contexte, l'Union européenne contribue au financement des efforts de recherche et développement (R&D) dans le domaine afin de stimuler l'activité de ce secteur. Les projets Européens Ultrafast_RAZipol et TiSaTD (présenté en fin d'article) visent à développer une nouvelle génération de sources laser de puissance pour le micro-usinage. Le projet Ultrafast_RAZipol est financé pour 3 ans dans le cadre du programme FP7 et a été lancé en novembre 2013. Le consortium est composé de laboratoires de recherche et d'entreprises dont deux membres français : le Laboratoire Charles Fabry (LCF) de l'Institut d'optique Graduate School et l'entreprise FiberCryst basée à Lyon qui sont partenaires depuis plus de 10 ans. Grâce aux savoirs faire et aux technologies des différents partenaires, plusieurs défis techniques et scientifiques sont relevés dans le cadre du projet. Le premier est de combiner plusieurs technologies

laser innovantes pour proposer de fortes puissances moyennes jusqu'à 500 W en régime sub-picoseconde à forte cadence. Le deuxième est de délivrer un faisceau à polarisation radiale ou azimutale dont les propriétés permettent de gagner en productivité mais aussi en qualité pour des applications de micro-usinage telles que le perçage laser. La haute cadence des sources développées dans le cadre du projet amène aussi à travailler sur le développement d'une nouvelle génération de scanners ultrarapides capables de gérer des cadences de répétition de 20 MHz pour diminuer les temps de process et améliorer la productivité.

La polarisation radiale

Avant de rentrer dans le détail de l'architecture laser, arrêtons-nous un instant sur la notion de polarisation radiale. Alors

Le Micro-usinage ne doit pas être une tâche impossible

Platines de translation

- Modèles de course allant de 50mm à 1.5m
- Vitesse jusqu'à 2 m/s
- Conception à joints latéraux et capot acier
- Faible coût, haute performance
- Vis à billes ou à moteurs linéaires



Système intégré Axes servo / Scanner

- Grand choix de focales et ouvertures
- Précision ultime et stabilité thermique
- Synchro tirs laser en temps réel sur les positions scanner/axes servo



Système d'usinage cylindrique

- Plateforme de déplacement translation / rotation
- Architecture de contrôle avancée
- Configurations à simple ou double broche



Système gantry à moteurs linéaires

- Vitesse 3 m/s et acceleration 5 g
- Précision exceptionnel et performance pour une productivité maximale
- Versions "étanches" et options customisées pour votre application



Notre brochure gratuite Usinage LASER et Micro-usinage



<http://www.aerotech.com/resources/brochures.aspx>



Dedicated to the Science of Motion

Ph: +33 1 64 93 58 67
Email: sales@aerotech.co.uk
www.aerotech.co.uk



AT0815A-LPM-FR

que l'immense majorité des systèmes laser industriels ultra-rapides délivrent des faisceaux gaussiens polarisés linéairement, les intérêts des faisceaux à polarisation radiale ou azimutale ont été démontrés en laboratoire depuis de nombreuses années. Pour ces faisceaux, le champ électrique est orienté de manière radiale ou azimutale par rapport au profil d'intensité en tous points du faisceau laser (cf. figure 2). Cela signifie aussi que l'orientation du champ n'est pas définie au centre du faisceau, que son amplitude y est donc nulle et que le profil d'intensité a une forme d'anneau. Avec ces faisceaux, des différences d'efficacité de l'ordre de 50 % ont été mesurées pour des applications de perçage à fort rapport d'aspect. L'analyse des échantillons a aussi montré une plus grande profondeur de pénétration et une meilleure symétrie des trous obtenus grâce à la symétrie cylindrique de la polarisation des faisceaux. Produire et amplifier ces faisceaux s'avère être relativement délicat étant donné qu'un simple miroir laser utilisé à incidence non nulle est susceptible de dégrader l'état de polarisation.

L'architecture de la source laser

L'architecture laser de la source développée est basée sur un oscillateur suivi d'une chaîne d'amplification (MOPA – *master oscillator power amplifier*). L'injecteur est un oscillateur laser en espace libre utilisant un cristal dopé aux ions ytterbium et pompé par une diode laser. Les durées d'impulsion en régime picoseconde et sub-picoseconde sont obtenues par verrouillage des modes en phase grâce à un absorbant saturable à semi-conducteur. Ce travail est réalisé par Time-Bandwidth Products, un industriel du laser ultra-rapide basé à Zurich et récemment racheté par l'entreprise américaine JDSU.

Des fibres cristallines sont utilisées pour les premiers étages d'amplification qui sont testés au LCF de Palaiseau et seront intégrés par l'entreprise Lyonnaise Fibercryst. La fibre cristalline est une technologie hybride à la frontière entre le cristal laser massif classique et la fibre optique. Elle est développée depuis une

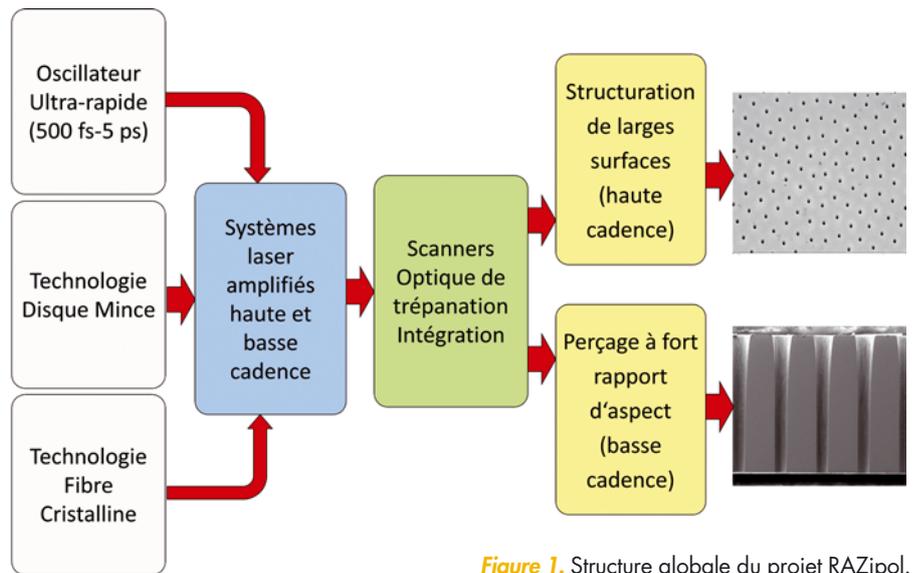


Figure 1. Structure globale du projet RAZipol.

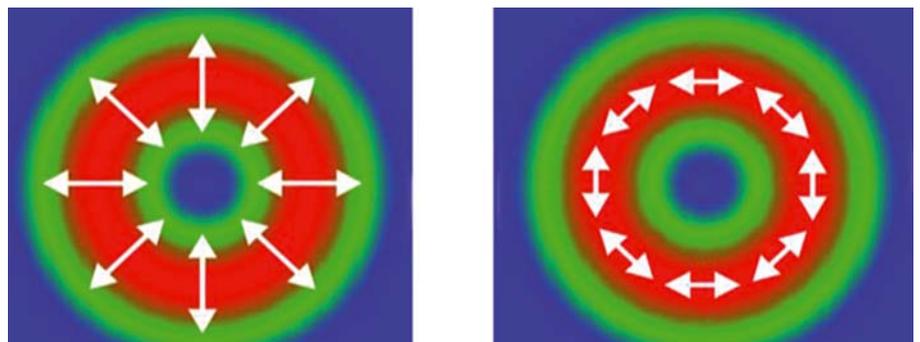


Figure 2. Profil d'intensité et orientation du champ électrique pour des faisceaux laser à polarisation radiale et azimutale.

dizaine d'années dans le cadre d'une collaboration entre le LCF et Fibercryst. Ce travail a donné lieu à une vingtaine de publications scientifiques, une cinquantaine de présentations en conférences, trois brevets et un produit commercial. Les modules de gain à fibre cristalline Taranis (cf. figure 3) offrent une solution technologique qui permet de tirer pleinement parti du concept de la fibre cristalline en assurant un excellent contact thermique entre le cristal et sa monture tout en limitant les contraintes mécaniques. Ils ont été utilisés pour réaliser de nombreuses démonstrations expérimentales qui ont précédé le projet dont un oscillateur laser de 250 W et un amplificateur laser en régime femtoseconde permettant d'atteindre une énergie d'un millijoule. Une première démonstration d'amplification de faisceau à polarisation radiale

a aussi précédé la soumission du projet de quelques mois.

Une fois les oscillateurs amplifiés intégrés, ils seront envoyés à l'IFSW de l'université de Stuttgart qui est à l'origine de l'invention du disque mince. Cette architecture laser permet de concevoir des oscillateurs et des amplificateurs de très forte puissance et est à l'origine d'une révolution dans le domaine des applications industrielles de l'usinage laser. Le principe est d'utiliser un cristal laser fin (100 µm à 200 µm) refroidi par la face arrière comme miroir actif. Cette approche a récemment permis à nos collègues allemands d'obtenir une puissance de sortie de 1,4 kW avec un amplificateur multi-passage. Une version adaptée à la polarisation cylindrique (radiale ou azimutale) sera développée dans le cadre du projet. L'objectif est d'atteindre jusqu'à 500 W à haute cadence.

Les applications

L'intégration de l'ensemble du système laser sera réalisée par Time-Bandwidth Products JDSU. La haute cadence de la source développée impose des vitesses de balayage du faisceau très élevées qui ne peuvent être obtenues avec les scanners classiques. La société Next Scan Technology, membre du consortium basé en Belgique et en Hollande, développe des scanners à base de polygones qui permettront aux utilisateurs d'exploiter ces fortes cadences pour gagner en productivité.

Deux sources sont développées dans le cadre du projet Ultrafast_RAZipol pour deux gammes d'application : l'une à très

haute cadence et l'autre à plus basse cadence. La texturation de larges surfaces et le développement de structures complexes de type « Lab on Chip » sur de grands wafers sont les deux principales applications visées pour la source haute cadence (500 W ; 20 MHz ; < 1 ps). La source basse cadence et forte énergie (200 W ; 200-500 kHz ; 5 ps) est quant à elle conçue pour le perçage de trous profonds de qualité supérieure avec un fort rapport d'aspect. La principale application est le perçage des buses d'injection des moteurs diesels. Trois partenaires travaillent sur ce volet du projet : la société allemande GFH qui développe des machines d'usinage laser ; la société allemande SLV M-V qui développe des processus industriels d'usinage laser ainsi que l'entreprise Suisse Class 4 Laser Professionals qui met son expertise en usinage laser au service du projet.

Figure 3. Module de gain à fibre cristalline Taranis commercialisé par l'entreprise Fibercryst.

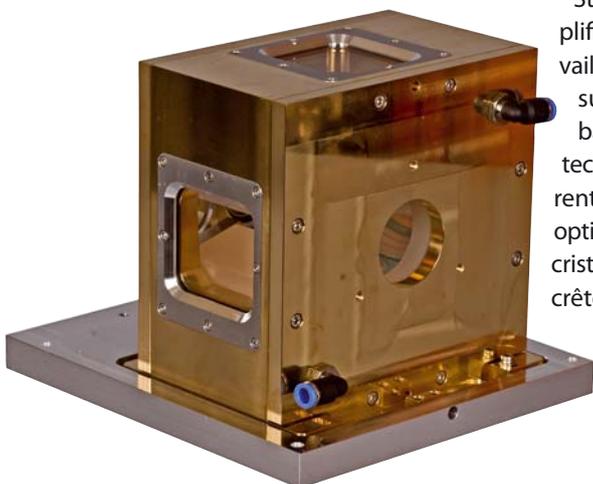


Figure 4. Module à disque mince développé par l'IFSW de l'Université de Stuttgart.

Les avancées du projet

Les deux partenaires français du projet ont atteint le 1^{er} jalon de performances avec plus du 70 W de puissance en polarisation cylindrique après amplification de la source haute cadence. Ces amplificateurs ont été intégrés par Fibercryst et envoyés à l'IFSW à Stuttgart pour développer l'amplificateur à disque mince. Le travail se concentre donc maintenant sur l'amplification de la source basse cadence pour laquelle les techniques de combinaison cohérente développées pour les fibres optiques seront adaptées aux fibres cristallines afin de gérer puissances crête élevées. Au terme du projet, les sources laser développées sont amenées à devenir des produits commercialisés par les partenaires industriels.

Pour plus d'informations et les dernières actualités du projet : rendez-vous sur www.razipol.eu



Avec l'apparition du premier spectromètre miniature au monde, Ocean Optics a permis à la spectroscopie d'être portable, bas coût et accessible. Inspirés par vos retours d'expériences, nous avons ré-inventé le spectromètre miniature pour adresser les challenges actuels et les applications les plus exigeantes. Le Flame a une meilleure stabilité thermique, une excellente reproductibilité, et donne la liberté à l'utilisateur de changer soi-même la fente d'entrée. Il dispose d'une connectique d'interfaçage et de LEDs témoins.



Pour plus d'information sur nos offres, contactez notre distributeur français

T: 02 96 05 40 20
info@idil.fr | www.idil.fr



www.oceanoptics.com

Zoom sur le projet TiSaTD

Christophe SIMON BOISSON

Thales Optronique

christophe.simonboisson@fr.thalesgroup.com

Alors que l'utilisation de l'Yb:YAG limite la durée des impulsions à des valeurs minimum autour d'une picoseconde, le saphir dopé titane permet de générer des impulsions beaucoup plus courtes de durée inférieure à 100 fs. C'est l'un des matériaux « historiques » des lasers à impulsions brèves qui donne lieu par ailleurs à des développements considérables dans le domaine des lasers à très haute puissance crête pour applications scientifiques. Il est très peu utilisé dans le domaine du micro-usinage. Les raisons sont liées d'une part à l'absence de diodes de puissance vertes adéquates pour pomper directement le matériau, d'autre part et surtout aux difficultés d'obtention de puissances moyennes compatibles avec les besoins des utilisateurs quant à la productivité du micro-usinage. Ces difficultés sont provoquées par le comportement optique sous fort pompage du matériau qui devient alors très focalisant. Une alternative est le fonctionnement à basse température (autour de 70 à 80 K) car dans ce cas l'effet de focalisation est nettement moins prononcé grâce à l'augmentation de la conductivité thermique du matériau. Néanmoins cela nécessite la mise en œuvre de dispositifs de cryogénie qui sont peu compatibles d'un fonctionnement industriel.

Le projet et le consortium « TiSa-TD »

Le fait de ne pas pouvoir disposer de sources laser produisant des impulsions plus courtes que 300 fs peut s'avérer problématique pour les performances et la qualité du micro-usinage notamment pour ce qui concerne les matériaux diélectriques. L'idée directrice du projet *Ultrafast high-average power Ti:sapphire thin-disk oscillator and amplifiers* (dont l'acronyme est TiSa-TD pour titanium sapphire thin disk) est d'utiliser pour la première fois le saphir titane sous forme

de disque mince car cette configuration conduit à des gradients thermiques essentiellement longitudinaux, ce qui limite fortement les effets de focalisation. Par ailleurs, les dissipateurs thermiques initiaux seront constitués de diamant synthétique transparent qui est désormais disponible dans une ouverture suffisante de type centimétrique et dont les performances en absorption et en biréfringence résiduelles sont récemment en très nette amélioration.

Le projet TiSa-TD est un projet de 3 ans financé par l'Union européenne (*grant agreement* n°619777) qui a démarré en décembre 2013 et qui est piloté par l'Institut Für StrahlwerkZeuge (IFSW) de l'université de Stuttgart. Cet institut spécialisé dans la technologie des lasers et de leurs applications industrielles est l'inventeur du concept de disque mince. Dans le projet, outre la coordination, IFSW est plus spécifiquement chargé de la conception et de la réalisation de l'ensemble des modules de gain à disques minces et de la conception d'un oscillateur saphir titane à disque mince de haute énergie. Les autres partenaires du projet sont : le CNRS, au travers du laboratoire Femto-ST de Besançon qui est en charge d'optimiser les procédés d'interaction laser-matière utilisant les sources de TiSa-TD en mettant en œuvre des architectures d'interaction particulièrement innovantes comme celles utilisant des faisceaux de Bessel ; Element 6, société britannique leader mondial du diamant synthétique en charge de concevoir et qualifier l'ensemble des dissipateurs diamant du projet TiSa-TD ; Kite Innovation, société britannique en charge du management du projet, en appui à IFSW ; MSquared Lasers, société britannique spécialisée dans les oscillateurs femtosecondes qui est en charge d'industrialiser l'oscillateur saphir titane qui sera défini et caractérisé

par IFSW ; Oxford Lasers, société britannique spécialisée dans les systèmes de micro-usinage par laser qui est en charge pour TiSa-TD de réaliser une première intégration système avec une source produite par le projet et conjointement avec Femto-ST d'optimiser les procédés d'usinage en y incluant une comparaison des résultats obtenus par la technologie saphir titane avec ceux obtenus par la technologie ytterbium ; et enfin Thales Optronique, société française spécialisée dans les amplificateurs femtosecondes qui est en charge dans le cadre du projet TiSa-TD de réaliser deux dispositifs d'amplification, l'un de moyenne puissance, l'autre de forte puissance, utilisant les modules à disques minces réalisés par IFSW.

Situation du projet et perspectives

Les disques minces en saphir titane ont été tous fabriqués (incluant le polissage et le traitement) et une part a déjà été contactée sur les dissipateurs diamant réalisés par IFSW pour le projet. Les lames de diamant ont été réalisées et caractérisées par Element 6. Un premier module de gain à disque mince saphir titane destiné au premier amplificateur Thales est en cours de construction par IFSW qui en parallèle conduit des travaux préparatoires sur l'oscillateur de forte énergie en collaboration avec MSquared Lasers. Thales Optronique réalisera pour fin 2015 un premier amplificateur à disque mince saphir titane tandis que Oxford Lasers et Femto-ST ont engagé les travaux sur l'optimisation des procédés de micro-usinage. Les travaux de fin 2015 et de 2016 permettront donc de statuer sur les performances des oscillateurs et amplificateurs laser à base de disques minces de saphir titane contacté sur diamant synthétique transparent et sur les résultats de micro-usinage que ces sources pourront produire.