

Faisceaux non-diffractants et accélérants. Applications à la micro et nanostructuration par laser femtoseconde

F. Courvoisier*, A. Mathis, C. Xie, B. Wetzel, J. Zhang, L. Froehly,
M. Jacquot, L. Furfaro, R. Giust, P.A. Lacourt, J. Dudley

*Département d'Optique P.M. Duffieux, Institut FEMTO-ST,
UMR 6174 CNRS Université de Franche-Comté, 25030 Besancon Cedex, France
francois.courvoisier@femto-st.fr*

Résumé abrégé : Lors des processus d'ablation par laser, le contrôle des profils des flancs d'ablation est un aspect important. Nous avons récemment développé une approche permettant de répondre à ce problème, à partir du contrôle de la direction de la lumière dans des faisceaux femtoseconde. Nous adressons des modes particuliers (stationnaires) de la filamentation dans les diélectriques afin de contrôler la répartition spatiale du dépôt d'énergie dans la matière. Des structures à haut rapport de forme et l'usinage direct de profils courbes seront présentés.

Mots-clés : faisceaux d'Airy, faisceaux de Bessel, ablation par laser femtoseconde, filamentation

L'usinage et la modification de matériaux par laser femtoseconde est une technologie très versatile, qui a permis d'ouvrir un large champ de recherches et d'applications. Dans le contexte particulier de la fabrication de tranchées et de canaux (through-vias), le contrôle du profil longitudinal d'ablation est extrêmement difficile. Dans ce contexte, nous avons récemment développé une approche de l'usinage laser basée sur l'utilisation de faisceaux de Bessel et d'Airy (faisceaux « accélérants ») et cette contribution sera une revue de nos travaux récents dans ce domaine.

Le concept clé de notre approche réside dans le contrôle de la direction de la propagation de la lumière plutôt que sa distribution d'intensité dans un plan. Dans les faisceaux de Bessel, la lumière se propage le long des génératrices d'un cône et -sous certaines conditions- la propagation non-linéaire des faisceaux de Bessel est stationnaire [1]. Dans ce régime, nous avons reporté la réalisation de nanocanaux de rapport d'aspect 100 :1 dans le verre par des impulsions laser uniques [2,3]. Des simulations numériques de la propagation non-linéaire des faisceaux de Bessel sont en excellent accord avec les résultats expérimentaux et mettent en évidence que la structure spatiale du faisceau est un élément clé pour permettre la génération d'un plasma très dense, dépassant la densité critique au-dessus de laquelle le plasma est opaque. Des applications à la nanostructuration de surface seront également présentées.

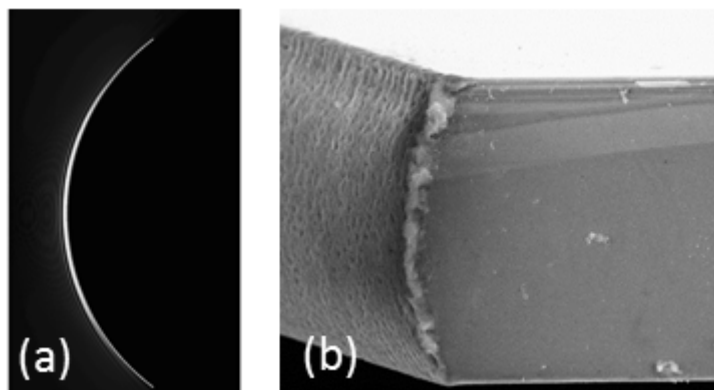


Fig. 1 : (a) Distribution d'intensité d'un faisceau accélératn le long d'une trajectoire circulaire. Le faisceau se propage de haut en bas (b) Résultat d'ablation par un faisceau accélératn pour la réalisation de profils circulaires dans le silicium.

Les faisceaux d'Airy et d'une manière générale, les faisceaux accélérants constituent une autre famille de faisceaux dont le profil spatial est quasi-non-diffractant. Leur spécificité est que ces faisceaux présentent un lobe de forte intensité dont la position varie selon une courbe lors de la propagation (Fig 1(a)). La « trajectoire » de ces faisceaux peut être arbitrairement choisie, y compris dans le domaine non-paraxial [4,5]. La structure particulière de ces faisceaux a été mise à profit pour réaliser des découpes en courbe de wafers de silicium et de diamant (Fig1(b)) [6].

Nos résultats démontrent que le contrôle de la propagation non-linéaire des impulsions femtoseconde est un aspect clé pour des applications à l'endommagement et au micro/nano-usinage par laser.

Références

- [1] M. A. Porras, A. Parola, D. Faccio, A. Dubietis and P. Di Trapani, "Nonlinear Unbalanced Bessel Beams: Stationary Conical Waves Supported by Nonlinear Losses," *Phys. Rev. Lett.* **93**, 153902 (2004).
- [2] M. K. Bhuyan, F. Courvoisier, P.-A. Lacourt, M. Jacquot, R. Salut, L. Furfaro, and J. M. Dudley "High aspect ratio nanochannel machining using single shot femtosecond Bessel beams," *Appl. Phys. Lett.* **97**, 081102 (2010).
- [3] F. Courvoisier, J. Zhang, M. K. Bhuyan, M. Jacquot, J. M. Dudley "Applications of femtosecond Bessel beams to laser ablation," *Appl. Phys. A*, DOI 10.1007/s00339-012-7201-2, Online First (2012)
- [4] L. Froehly, F. Courvoisier, A. Mathis, M. Jacquot, L. Furfaro, R. Giust, P. A. Lacourt, and J. M. Dudley, "Arbitrary accelerating micron-scale caustic beams in two and three dimensions," *Opt. Express*, **19**, 16455-16465 (2011)
- [5] F. Courvoisier, A. Mathis, L. Froehly, R. Giust, L. Furfaro, P. A. Lacourt, M. Jacquot, and J. M. Dudley, "Sending femtosecond pulses in circles: highly non-paraxial accelerating beams," *Opt. Lett.*, **37**, 1736-1738 (2012)
- [6] A. Mathis, F. Courvoisier, L. Froehly, L. Furfaro, M. Jacquot, P.A. Lacourt and J.M. Dudley, "Micromachining along a curve: Femtosecond laser micromachining of curved profiles in diamond and silicon using accelerating beams", *Appl. Phys. Lett.* **101**,071110 (2012)