Des surfaces fonctionnalisées inspirées par la nature

Texturation de surface par laser

Françoise MÉTIVIER, Arnaud ZOUBIR, Marc FAUCON, Rainer KLING
ALPhANOV, Institut d'optique d'Aquitaine, rue François Mitterrand, 33400 Talence
info@alphanov.com

Les lasers interagissent avec la matière en fonction de la longueur d'onde ou de l'énergie de leur faisceau, mais aussi de nombreux autres paramètres tels que leur durée d'impulsion ou leur taux de répétition. Les photons émis par les sources laser ont ainsi de nombreuses façons de se combiner aux atomes, molécules et électrons constituant la matière. Les scientifiques ont trouvé une grande variété d'applications utilisant ces interactions, de la spectroscopie à la microscopie, du refroidissement d'atomes à la fusion nucléaire. Les lasers de forte puissance sont ainsi employés dans des processus industriels visant à découper, percer, souder, graver voire nettoyer des matériaux, ouvrant la porte à des applications aussi nombreuses que les matériaux travaillés. Tout récemment, les scientifiques ont démontré que les lasers femtoseconde étaient capables de remodeler la matière, et de conférer ainsi à la surface des matériaux de nouvelles propriétés, semblables à celles existant dans la nature.

Des sources lasers adaptées à la texturation de surface

Les lasers femtoseconde apportent aux procédés industriels d'indéniables avantages. Les impulsions émises sont si brèves que l'usinage des matériaux se produit avec très peu voire sans échanges thermiques, créant des contours sans bavures et ouvrant ainsi la voie à une très haute précision de structuration (jusqu'à l'échelle du micron). Cet usinage est possible sur l'ensemble des matériaux et permet non seulement d'améliorer des procédés existants, mais aussi de développer de nouvelles applications. Ainsi, l'utilisation de lasers femtoseconde pour usiner la surface de différents matériaux (par exemple des métaux ou du silicium) donne accès, en fonction de certains paramètres, à une texturation à l'échelle nanométrique.

La plupart des procédés de texturation de surface utilisent des lasers titane-saphir, mais la mise en œuvre de ces procédés au sein de l'industrie a conduit à développer des lasers plus compacts, plus robustes et offrant des vitesses d'usinage plus importantes, donc une puissance moyenne plus élevée. Ainsi, les travaux les plus récents utilisent des lasers ytterbium, capables de fonctionner avec de forts taux de répétition et qui se présentent sous une forme plus adaptée aux contraintes industrielles. Avec ce type de lasers, des vitesses d'usinage de l'ordre de quelques secondes par centimètre carré ont été démontrées [1,2].

Disponible sur le site http://www.photoniques.com ou http://dx.doi.org/10.1051/photon/20157527

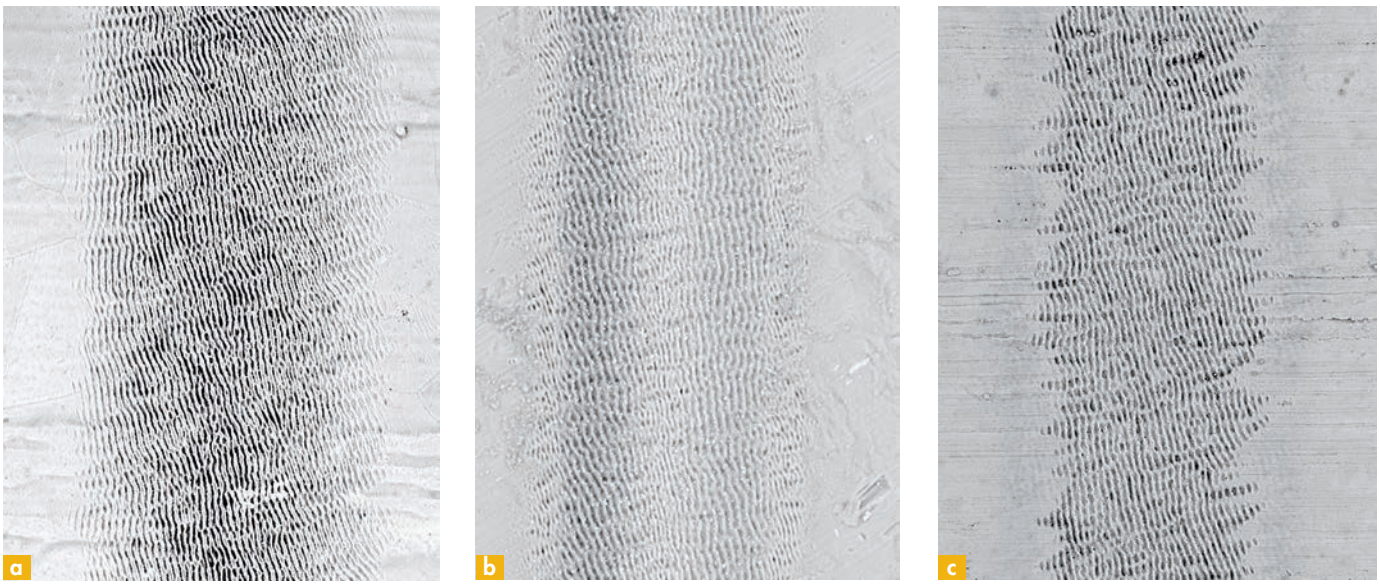


Figure 1. Exemples d'ondulations obtenues par texturation grâce à un laser femtoseconde fonctionnant à 1 MHz et présentant une fluence de 0,2 J.cm^{-2}. *(a)* Acier inoxydable, 32 impulsions. *(b)* Aluminium, 420 impulsions. *(c)* Cuivre, 210 impulsions.

Une texturation à l'échelle nanométrique

Cette texturation, qui conduit à la formation d'ondulations *(figure 1)*, suites de creux et de bosses, a été abondamment décrite ces dernières années et est désignée sous l'acronyme LIPSS *(laser induced periodic surface structures)*. L'explication théorique la plus communément admise est celle d'une interaction interférométrique entre la lumière incidente et une onde électromagnétique de surface (SEW – *surface electromagnetic wave*). Sous une lumière incidente normale à la surface, les ondulations sont orientées, dans le cas des métaux, perpendiculairement à la polarisation de l'onde lumineuse et leur période est proche de la longueur d'onde de la source laser [3]. L'apparition et la croissance de ces ondulations SEW dépendent de deux paramètres principaux : la fluence (énergie par unité de surface) et le nombre d'impulsions par unité de surface.

Les travaux menés récemment au sein du centre technologique ALPhANOV [1] ont permis de mettre en évidence cette influence, notamment d'observer la transition entre la formation de ces ondulations et l'apparition de structures ayant la forme de cônes et de pointes. En effet, sous l'augmentation du nombre d'impulsions reçues, la qualité des ondulations se dégrade et des trous apparaissent, dus à l'agglomération de matière par effet thermique *(figure 2)*. Si l'on augmente la fréquence du laser, la puissance moyenne augmente à énergie par impulsion constante et l'on observe alors d'abord un fractionnement des ondulations *(figures 3a et 3b)*, puis un mélange d'ondulations et de cônes *(figures 3c et 3d)* pour finalement obtenir une surface ne présentant plus aucune ondulation au niveau de la partie centrale du faisceau *(figure 3e)*.

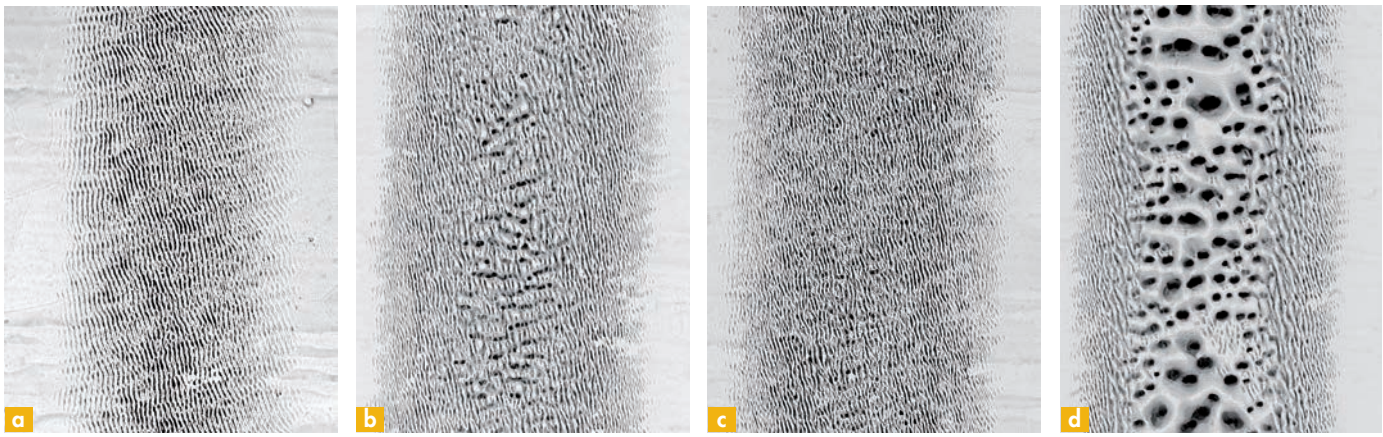


Figure 2. Transition entre la formation d'ondulations et l'apparition d'agglomérations de matière par effet thermique sous l'augmentation du nombre d'impulsions reçues par la surface. *(a)* 32 impulsions. *(b)* 126 impulsions. *(c)* 210 impulsions. *(d)* 420 impulsions.

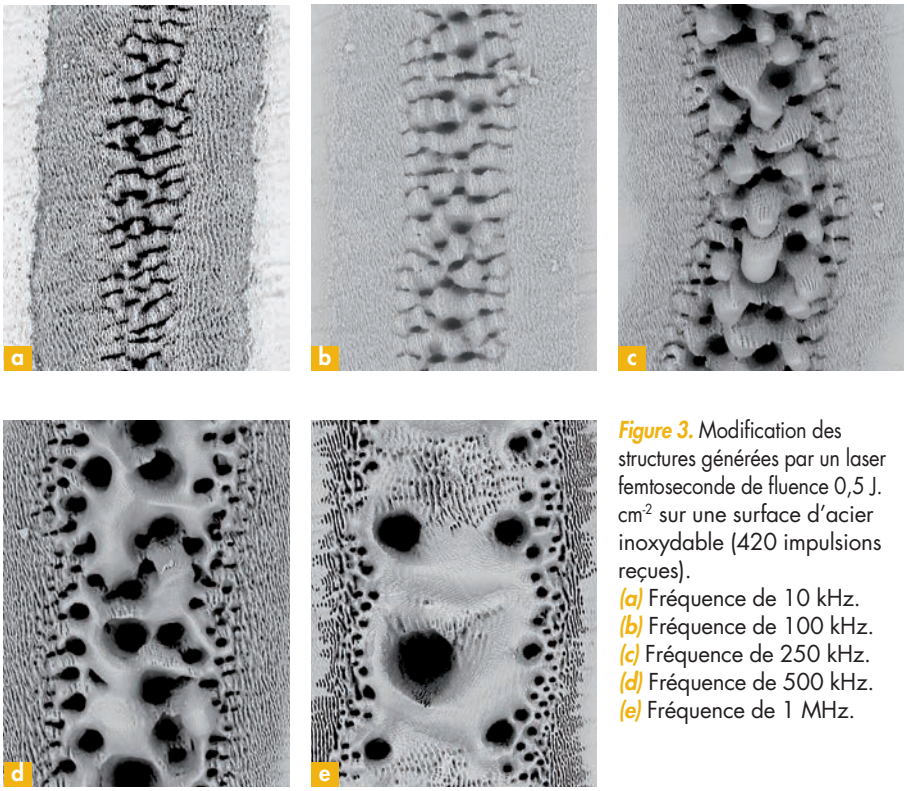


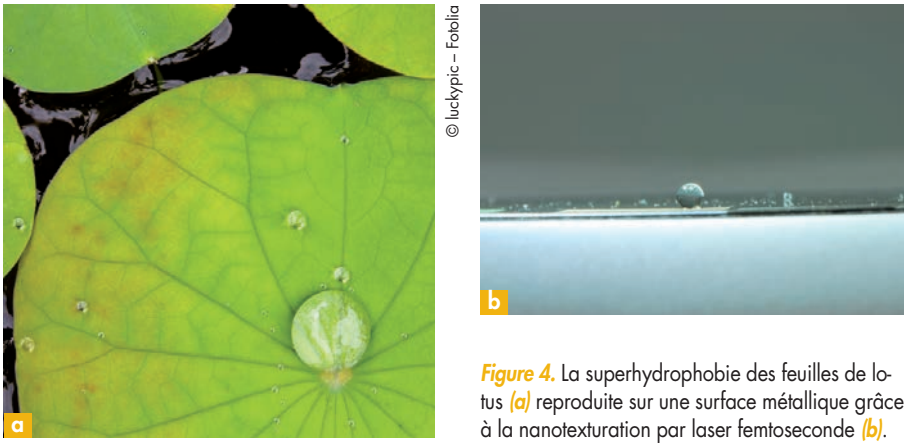
Figure 3. Modification des structures générées par un laser femtoseconde de fluence 0,5 J. cm^2 sur une surface d'acier inoxydable (420 impulsions reçues).
(a) Fréquence de 10 kHz.
(b) Fréquence de 100 kHz.
(c) Fréquence de 250 kHz.
(d) Fréquence de 500 kHz.
(e) Fréquence de 1 MHz.

Des propriétés identiques à celles observées dans la nature

Sous certaines conditions, les surfaces métalliques peuvent être structurées de façon à présenter une forte répulsion à l'eau, identique à celle que l'on observe sur les feuilles de lotus *(figure 4)*. Cette hyperhydrophobie confère aussi de nouvelles propriétés tribologiques aux surfaces traitées.

Lorsque la période des ondulations est dans la même gamme que la longueur d'onde visible incidente, le phénomène de diffraction conduit à des effets colorés semblables à ceux observés chez certains insectes *(figure 5)*. À une échelle macroscopique, les ondulations agissent comme des réseaux de diffraction, dont la période et l'orientation peuvent être contrôlées via la longueur d'onde et la polarisation du laser d'usinage.

Le passage aux structures en forme de cônes et de pointes, donne aux surfaces métalliques de nouvelles propriétés optiques. Ces structures agissent en effet comme de véritables « pièges à photons »



© luckypic – Fotolia

Figure 4. La superhydrophobie des feuilles de lotus *(a)* reproduite sur une surface métallique grâce à la nanotexturation par laser femtoseconde *(b)*.

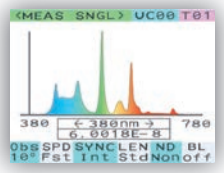
ScienTec
La SoluTion à vos mesures

Le spectroradiomètre de référence
CS-2000

Précision & Performance

KONICA MINOLTA

Caractéristiques :
› Excellente fiabilité
› 3 angles de mesure (1°, 0.2°, 0.1°)
› Mesure rapide
› Haute sensibilité (mesure à partir de 0.003 cd/m² avec le CS-2000 et 0.0005 d/m² avec le CS-2000A)
› Mesure de contraste jusqu'à 1:100 000
› Mode autonome (avec écran de visualisation ou utilisation avec ordinateur par liaison USB)
› Mesures sur petites et grandes surfaces



Analyse spectrale

Fournit :
› La luminance, la couleur
› Le spectre (380-780nm)
› La température de couleur
› La longueur d'onde dominante
› L'Indice de Rendu des Couleurs

ScienTec c'est aussi
Sources de référence
Vidéocolorimètres
Photomètres
Luxmètres
Chromamètres

info@scientec.fr / www.scientec.fr
01.64.53.27.00

© Samuele Gallini – Fotolia

Figure 5. Les ondulations obtenues par texturation de la surface des métaux agissent comme un réseau de diffraction et conduisent à des colorations *(b)* proches de celles de certains insectes *(a)*.

© pelooyen – Fotolia

Figure 6. Le noir profond observé sur des métaux *(b)* grâce aux pointes formées par texturation de surface reproduit le fonctionnement des yeux de certains insectes nocturnes *(a)*.

et absorbent quasiment la totalité de la lumière incidente. La réflectance (ou facteur de réflexion) des surfaces métalliques peut ainsi se réduire à 5 % et les surfaces présentent un aspect noir mat très caractéristique *(figure 6)*. Cet effet est comparable à celui existant dans les yeux de certains insectes nocturnes : la présence de pointes empêchant la réflexion entre l'air et la cornée est à l'origine de la qualité de leur vision de nuit.

Un procédé qui intéresse l'industrie

Les propriétés d'hydrophobie, qui conduisent aussi à des propriétés tribologiques originales, intéressent notamment le secteur aéronautique et la micromécanique. Les colorations apportées par les ondulations trouvent des applications naturelles dans tous les secteurs sensibles aux aspects décoratifs (joaillerie, parfumerie, horlogerie) mais sont aussi utilisées pour des marquages anti-contrefaçon. Les « pièges à atomes » que représentent les structures en forme de pointes ont sans surprise été mis en œuvre dans des capteurs, notamment les détecteurs infrarouges, ou sur des panneaux photovoltaïques pour augmenter leur taux de conversion des photons incidents [4]. Le noir mat peut aussi facilement s'adapter à des formes complexes, pour créer des effets décoratifs avec des motifs très précis et offrant une grande uniformité.

La texturation par laser présente, à l'instar des autres procédés laser, des qualités intrinsèques particulièrement prisées du monde industriel. Procédé sans contact, elle peut ainsi être réalisée à distance et sur des pièces de formes très variées, voire sur des surfaces difficiles d'accès pour des outils traditionnels. C'est par ailleurs un procédé en une seule étape, qui ne nécessite donc ni pré-, ni post-traitement et qui ne met en œuvre aucun produit chimique. La transformation profonde de la structure de la matière conduit en outre à une modification stable et pérenne, contrairement aux revêtements comme les peintures, les poudres ou l'anodisation qui peuvent s'altérer ou disparaître avec le temps. Enfin, la transformation étant de même nature chimique que le substrat, elle ne présente aucun risque de s'effriter ou de produire des réactions allergiques : ceci est particulièrement important pour les applications en joaillerie.

Essayer de reproduire des effets naturels a déjà conduit à de nombreuses innovations industrielles, comme l'utilisation de structures en nid d'abeille pour réduire le poids de certaines constructions. De nombreux autres effets naturels semblent intéressants à reproduire comme les pattes adhésives du gecko. Le potentiel de la texturation de surface par laser femtoseconde devrait lui permettre de répondre à de tels défis.

Pour en savoir plus

[1] Faucon, M., Laffitte, A., Lopez, J., Kling, R. Surface blackening by laser texturing with high repetition rate femtosecond laser up to 1MHz. in Proceedings of SPIE Photonics, Vol. 8972 (2014)

[2] Lopez, J., Torres, R., Zaouter, Y., Georges, P., Hanna, M., Mottay, E., Kling, *R. Study on the influence of repetition rate and pulse duration on ablation efficiency using a new generation of high power Ytterbium doped fiber ultrafast laser. Proc. SPIE.* 8611, Frontiers in Ultrafast Optics: Biomedical, Scientific, and Industrial Applications XIII, 861118 (2013)

[3] Bonse, J., Krüger, J., Höhm, S., Rosenfeld, *A. Femtosecond laser-induced periodic surface structures. J. Las.* Appl. 24, 042006 (2012)

[4] Torres, R., Vervisch, V., Halbwax, M., Sarnet, T., Delaporte, P., Sentis, M., Ferreira, J., Barakel, D., Bastide, S., Torregrosa, F., Etienne, H., Roux, L. Femtosecond laser texturization for improvement of photovoltaic cells: Black Silicon. Journal of Optoelectronics and Advanced Materials 12, 621 (2010)