By : **Sacha Plaskwa**, Institut d’Optique Graduate School & master Advance Imaging and Material Appearance (AIMA), Université Jean Monnet St Etienne (March 2020)

**Apparence des nano-structures formées par LASER**

L’arrivée des lasers à impulsions ultra-courtes (de l’ordre de la centaine de femtosecondes) a permis la réalisation de texturations microscopiques des surfaces métalliques d’une précision jusqu’alors inégalée. Au-delà de l’usinage des surfaces, une famille de texturations appelées LIPSS (Laser-induced periodic surface structures) fut développée. Ces LIPSS consistent en des ondulations de longueur d’onde inférieure à celle du laser les ayant formées, et dont l’orientation est supposément perpendiculaire à celle du laser.

La physique de l’interaction laser-matière menant à ces structures a été étudiée maintes fois [2,9]. Aujourd’hui, cette technologie est mise à des fins industrielles notamment dans le domaine du traitement des surfaces pour l’hydrophobie [6]. D’autres essais ont montré les différences induites par la polarisation, selon qu’elle soit linéaire, circulaire, radiale, ... [4, 7, 17]. Des essais ont été fait sur des surfaces de matériaux semi-conducteurs [5,10], et diélectriques [14]. Les études ont montré que de très faibles niveaux de fluence étaient nécessaires pour l’apparition de LIPSS, autrement la matière est ablatée et non réorganisée [3,15]. Plus récemment, des études se sont penchées sur les LIPSS dont la polarisation est parallèle à celle du faisceau incident [8, 12].

Du fait de l’échelle nanométrique des LIPSS (dimension inférieure à la longueur d’onde), ces texturations ont un fort effet diffractif, ce qui leur donne une apparence très colorée lorsqu’elles sont éclairées en lumière blanche. La couleur perçue du matériau en réflexion spéculaire dépend essentiellement des angles d’incidence et d’observation [1, 16]. Cette apparence colorée dépend néanmoins des paramètres d’irradiations. En-dessous d’un certain seuil comme au-delà, la séparation des couleurs et l’éclat apparent du matériau sont réduits. Les paramètres de marquage optimaux (fluence laser, taux de recouvrement, diamètre du faisceau,) sont l’objet de recherches [11, 13].

Les LIPSS sont un domaine en plein essor, pour lequel l’intérêt grandit avec le développement constant de nouvelles sources laser à impulsions ultra-courtes. Le prix Nobel de physique 2018 fut pour cela une excellente nouvelle. Il ne serait pas surprenant de voir les premiers laser attosecondes mis à effet dans la réalisation de LIPSS de qualité encore supérieure à ce que l’on peut voir aujourd’hui. On commence d’ailleurs à voir apparaître les premières impulsions sub-femtosecondes [18].

**References**

[1] Jörn Bonse, Sandra Höhm, Sabrina V Kirner, Arkadi Rosenfeld, and Jörg Krüger. Laser induced periodic surface structures—a scientific evergreen. IEEE Journal of selected topics in quantum electronics, 23(3), 2016.

[2] A Borowiec and HK Haugen. Subwavelength ripple formation on the surfaces of compound semiconductors irradiated with femtosecond laser pulses. Applied Physics Letters, 82(25):4462– 4464, 2003.

[3] Susanta Kumar Das, Daniela Dufft, Arkadi Rosenfeld, Joern Bonse, Martin Bock, and Ruediger Grunwald. Femtosecond-laser-induced quasiperiodic nanostructures on tio 2 surfaces. Journal of Applied Physics, 105(8):084912, 2009.

[4] Susanta Kumar Das, Hamza Messaoudi, Abishek Debroy, Enda McGlynn, and Ruediger Grunwald. Multiphoton excitation of surface plasmon-polaritons and scaling of nanoripple formation in large bandgap materials. Opt. Mater. Express, 3(10):1705–1715, Oct 2013.

[5] PM Fauchet and AE Siegman. Surface ripples on silicon and gallium arsenide under picosecond laser illumination. Applied Physics Letters, 40(9):824–826, 1982.

[6] Laura Gemini, Marc Faucon, Luca Romoli, and Rainer Kling. High throughput laser texturing of super-hydrophobic surfaces on steel. In Laser-based Micro-and Nanoprocessing XI, volume 10092, page 100921G. International Society for Optics and Photonics, 2017.

[7] Stephan Gräf and Frank A Müller. Polarisation-dependent generation of fs-laser induced periodic surface structures. Applied Surface Science, 331:150–155, 2015.

[8] S Höhm, A Rosenfeld, Jörg Krüger, and Jörn Bonse. Femtosecond laser-induced periodic surface structures on silica. Journal of Applied Physics, 112(1):014901, 2012.

[9] Min Huang, Fuli Zhao, Ya Cheng, Ningsheng Xu, and Zhizhan Xu. Origin of laser-induced near-subwavelength ripples: Interference between surface plasmons and incident laser. ACS Nano, 3(12):4062–4070, 2009. PMID: 20025303.

[10] DP Korfiatis, KA Th Thoma, and JC Vardaxoglou. Conditions for femtosecond laser melting of silicon. Journal of Physics D: Applied Physics, 40(21):6803, 2007.

[11] Chen Li, Hao Zhang, Guanghua Cheng, Nicolas Faure, Damien Jamon, Jean-Philippe Colombier, and Razvan Stoian. Initial cumulative effects in femtosecond pulsed laser-induced periodic surface structures on bulk metallic glasses. Journal of Laser Micro/Nanoengineering, 11(3), 2016.

[12] Kiminori Okamuro, Masaki Hashida, Yasuhiro Miyasaka, Yoshinobu Ikuta, Shigeki Tokita, and Shuji Sakabe. Laser fluence dependence of periodic grating structures formed on metal surfaces under femtosecond laser pulse irradiation. Physical Review B, 82(16):165417, 2010.

[13] Esther Rebollar, Marta Castillejo, and Tiberio A Ezquerra. Laser induced periodic surface structures on polymer films: From fundamentals to applications. European Polymer Journal, 73:162–174, 2015.

[14] Jürgen Reif, Florenta Costache, Matthias Henyk, and Stanislav V Pandelov. Ripples revisited: non-classical morphology at the bottom of femtosecond laser ablation craters in transparent dielectrics. Applied Surface Science, 197:891–895, 2002.

[15] Weijia Yang, Erica Bricchi, Peter G Kazansky, James Bovatsek, and Alan Y Arai. Self assembled periodic sub-wavelength structures by femtosecond laser direct writing. Optics Express, 14(21):10117–10124, 2006.

[16] Jianwu Yao, Chengyun Zhang, Haiying Liu, Qiaofeng Dai, Lijun Wu, Sheng Lan, Achanta Venu Gopal, Vyacheslav A Trofimov, and Tatiana M Lysak. Selective appearance of several laser-induced periodic surface structure patterns on a metal surface using structural colors produced by femtosecond laser pulses. Applied surface science, 258(19):7625–7632, 2012.

[17] Jeff F Young, JS Preston, HM Van Driel, and JE Sipe. Laser-induced periodic surface structure. ii. experiments on ge, si, al, and brass. Physical Review B, 27(2):1155, 1983.

[18] Kai-Jun Yuan and André D Bandrauk. Monitoring coherent electron wave packet excitation dynamics by two-color attosecond laser pulses. The Journal of chemical physics, 145(19):194304, 2016