

X-fotonė lazerinė 3D nanolitografija

X-photon laser 3D nanolithography

Edvinas Skliutas¹, Danielius Samsonas^{1,2}, Arūnas Čiburys¹, Lukas Kontenis², Darius Gailevičius¹, Jonas Berzinš², Donatas Narbutis³, Vytautas Jukna¹, Mikas Vengris¹, Saulius Juodkazis^{4,5}, Mangirdas Malinauskas¹

¹Lazerinių tyrimų centras, Fizikos fakultetas, Vilniaus universitetas, Vilnius, Saulėtekio al. 10, LT-10223, Lietuva

²Light Conversion, Keramikų g. 2B, LT-10233, Vilnius, Lietuva

³Teorinės fizikos ir astronomijos institutas, Fizikos fakultetas, Vilniaus universitetas, Saulėtekio al. 3, Vilnius, Lietuva

⁴Optical Sciences Centre and ARC Training Centre in Surface Engineering for Advanced Materials (SEAM), School of Science, Swinburne University of Technology, Melbourne, Australia

⁵WRH Program International Research Frontiers Initiative (IRFI) Tokyo Institute of Technology, Nagatsuta-cho, Midori-ku, Yokohama, Japan

mangirdas.malinauskas@ff.vu.lt

Daugiafotonės fotopolimerizacijos (*ang.* Multi-Photon Lithography – MPL) mechanizmai buvo tiriami derinamo bangos ilgio femtosekundiniu lazeriu. Pavyko nustatyti, kad galima naudoti bet kurią spektro spalvą nuo 500 iki 1200 nm su fiksuota 100 fs impulso trukme. Tai atskleidžia kur kas sudėtingesnę šviesos-medžiagos fotofizikinių mechanizmų sąveiką nei tik dvifotonė fotopolimerizacija. Atliekant tyrimą buvo įvertintas efektyvus sugerties laipsnis, t. y. X-fotonų sugertis, taip pat optimalios ekspozicijos sąlygos fotojautrintam ir grynai SZ2080TM pirmtake.

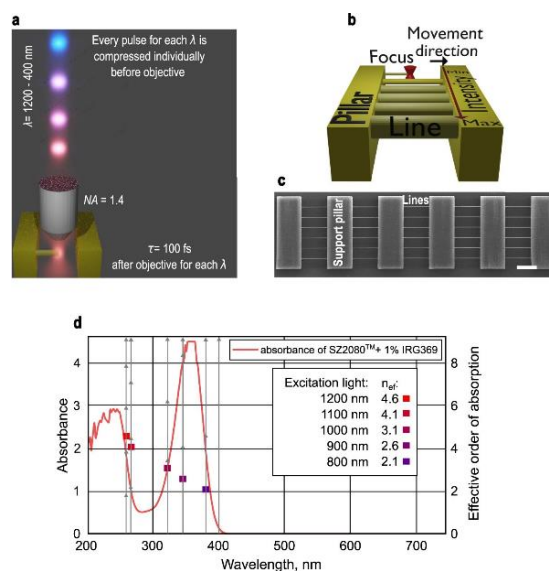
Nustatyta, jog bangos ilgio variacija labai veikia dinaminę gamybos langą (*ang.* Dynamic Fabrication Window – DFW), o optimaliomis sąlygomis siekė iki 10 kartų padidėjimą. Be to, buvo pastebėtas netrivialus energijos įvedimas X-fotonų sugerties metu, kuris pasireiškė stiprių erdviųjų taškinių darinių – *vokselių*, skersiniu matmenų padidėjimu žadinant ilgesniais bangos ilgiais ir pateikiamas galimas to priežastingumo paaiškinimas. Toks vokselio išilginių-skersinių matmenų santykio ir, atitinkamai, fotopolimerizuoto tūrio valdymas gali padidinti lazerinio 3D spausdinimo efektyvumą.

Apibendrinant, stebėti rezultatai rodo, kad bangos ilgis yra svarbus laisvės laipsnis pritaikyti MPL procesą praktikoje. O optimizuotas konkrečiai medžiagai naudingas plėtimasis taikymo srityje, tokios kaip mikrooptika, nanofotoniniai įrenginiai, metamedžiagos ir audinių inžinerija.

Reikšminiai žodžiai: femtosekundiniai impulsai, daugiafotonė litografija, lazerinis 3D spausdinimas, nanotechnologija, fotopolimerizacija, vokselis.

Literatūra

- [1] E. Skliutas, D. Samsonas, A. Čiburys, L. Kontenis, D. Gailevičius, J. Berzinš, D. Narbutis, V. Jukna, M. Vengris, S. Juodkazis, M. Malinauskas, X-photon laser direct write 3D nanolithography, *Virt. Phys. Prototyp.* **18**(1), e2228324 (2023); DOI: 10.1080/17452759.2023.2228324.



1 pav. Raiškos tiltų lazerinis 3D spausdinimas ir suformuotų linijų analizė. (a) derinamo bangos ilgio 100 fs impulsų, fokusuojamų NA = 1,4 imersiniu objektyvu sklaidimo iliustracija. b) Raiškos tiltų formavimo metodo iliustracija. Pakabinamos vieno vokselio pločio linijos fotopolimerizuojamos tarp atraminių sienų, kiekvienoje eilutėje parenkamas skirtingas šviesos intensyvumas; (c) viso suformuoto objekto vaizdas skenavimo elektronų mikroskopu. Mastelis – 20 μm ; (d) Schema, vaizduojanti apskaičiuotą efektyvųjų sugerties netiesiškumą n_{ef} naudojamai žadinimo šviesai ir jų išdėstymas pagal išmatuotus fotojautrinto SZ2080TM sugerties spektrus. Pilkos vertikalios rodyklės vaizduoja fotonų skaičių perėjimui iš pagrindinės į sužadintą būseną.