

# Trimačių mezoskalinių darinių formavimas femtosekundine lazerine litografija iš nefotojautrintų polimerų

## Fabrication of 3D meso-scale structures out of non-photosensitized polymers via femtosecond laser lithography

Linus Jonušauskas<sup>1,2</sup>, Darius Gailevičius<sup>1,2</sup>, Sima Rekštytė<sup>1</sup>, Mangirdas Malinauskas<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Vilniaus universitetas, Lazerinių tyrimų centras, Saulėtekio al. 10, LT-10223 Vilnius

<sup>2</sup>UAB „Femtika“, Saulėtekio al. 15, LT-10224, Vilnius, Lietuva

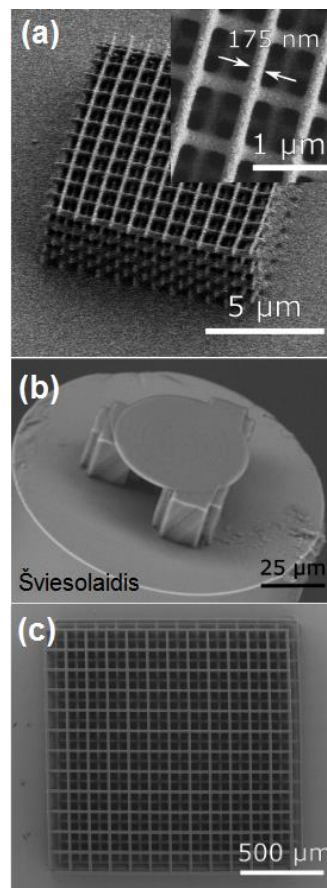
[linas@femtika.lt](mailto:linas@femtika.lt); [mangirdas.malinauskas@ff.vu.lt](mailto:mangirdas.malinauskas@ff.vu.lt)

Tiesioginiu lazeriniu rašymu paremta trimatė lazerinė litografija (3DLL) yra ypač lankstus metodas leidžiantis gaminti laisvos 3D architektūros darinius su subdifrakcine erdvine skyra. Ši technologija yra intensyviai vystoma moksle ir palengva pradama taikyti pramonėje [1].

Pagrindinės kryptys kuriomis judama tobulinant 3DLL yra formavimo spartos didinimas ir naudojamų medžiagų tobulinimas. Sprendžiant pirmąjį iššūkį vienas naujausių pasiūlytų sprendimų yra linijinių poslinkio stalų sinchronizacija su galvanoskaneriais, taip pasiekiant cm/s rašymo greitį, šimtų cm<sup>3</sup> darbinį tūrį ir dešimčių nm pozicionavimo tikslumą, kas įgalina formuoti mezoskalinius darinius – mm-cm dydžio objektus, kurių vidinė sandara gali būti sudaryta iš šimtų nm dydžio struktūrinių elementų. Tai ypač patrauklu, nes leidžia viename darinyje derinti egzotiškas savybes bei sąveikas pasiekiamas nano- ir makro- skalėse.

Kalbant apie medžiagų tobulinimą, šiuo metu yra aktyviai dirbama su grynų (nefotojautrintų) medžiagų apdirbimu panaudojant 3DLL. Fotoiniciatoriai, kurie yra neatskiriama standartinių litografijoje naudojamų fotorezistų dalis, sudaro sunkumų tiek prieš vykdydant tokios medžiagos apdirbimą (reikia spec. laikymo sąlygų, apsaugos priemonių dirbant ir pan.), tiek duoda nepageidautinų savybių galutiniam dariniui (žemesnį optinio pramušimo slenkstį, prastesnį biosutaikomumą ir t.t.). 3DLL atveju, naudojant femtosekundinius lazerinius impulsus ir netiesinę medžiagos-šviesos sąveiką, galima inicijuoti polimerizacijos reakciją ir be fotoiniciatorių [2]. Tai žada kur kas labiau išplėsti 3DLL darinių panaudojimą tokiose srityse, kaip fotonika, mikrooptika ar biomedicina.

Šiame darbe aptariamas įvairių dydžių darinių formavimas 3DLL iš hibridinio organinio-neorganinio fotopolimero SZ2080 [3] be fotoiniciatoriaus. Parodoma, jog be jokių papildomų priemonių taikymo su gryna medžiaga pasiekiamą erdvinę skyra gali siekti 200 nm ir mažiau. Demonstruojami funkciniai mikrooptiniai elementai ant šviesolaidžių galų. Aptariamas milimetrinių karkasų ląstelėms su mikrometriniais struktūriniais elementais formavimas. Šie rezultatai parodo, jog vykdydant beiniciorinę polimerizaciją panaudojant femtosekundinius lazerinius impulsus bei derinant linijinius stalus su galvanoskaneriais galima pagaminti įvairių dydžių ir tikslumų darinius kurie gali būti panaudoti daugybėje sparčiai besivystančių mokslo ir pramonės šakų.



1 pav. 3DLL pagaminti dariniai iš nefotojautrinto SZ2080 rodantys mikro- ir nanostruktūrinimo galimybes. (a) – aukštos erdvinės skyros rąstų rietuvės tipo darinys; (b) – invertuotas mikrolęšis ant atramų suformuotas ant šviesolaidžio galo; (c) – karkasas ląstelių auginimui.

*Reikšminiai žodžiai: tiesioginis lazerinis rašymas, femtosekundiniai impulsai, nefotojautrinti polimerai.*

### Literatūra

- [1] M. Malinauskas, A. Žukauskas, S. Hasegawa et al., Ultrafast laser processing of materials: from science to industry, *Light Sci. Appl.* **5**(8), e16133 (2016).
- [2] L. Jonušauskas, D. Gailevičius, L. Mikoliūnaitė et al., Optically Clear and Resilient Free-Form  $\mu$ -Optics 3D-Printed via Ultrafast Laser Lithography, *Materials* **10**(1), 12 (2017).
- [3] A. Ovsianikov, J. Viertl, B. Chichkov et al., Ultra-low shrinkage hybrid photosensitive material for two-photon polymerization microfabrication, *ACS Nano* **2**(11), 2257–2262 (2008).