

Sūkurinių Beselio pluoštų superpozicijų pritaikymas skaidrių terpių mikroapdirbimui

Superimposed Bessel beams for transparent material modification

Erminas Kozlovskis^{1,2}, Paulius Šleivas^{1,2}, Sergej Orlov¹

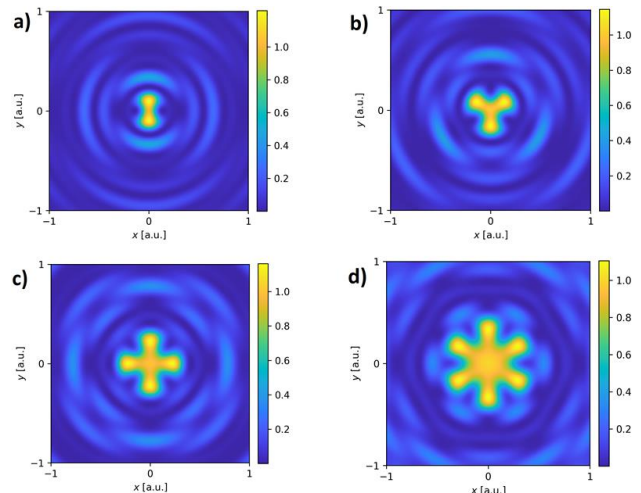
¹Fizinių ir technologijos mokslų centras, Saulėtekio Al. 3, Vilnius;

²Workshop of Photonics, Mokslininku g. 6A, Vilnius.

erminas.kozlovskis@gmail.com

Per pastaruosius dešimtmečius lazeriai tapo nepakeičiama priemone medžiagų mikroapdirbimo ir pramonės srityse. Jie suteikė labai kryptingą ir lokalizuotą energijos šaltinį, kuris palengvino precizišką medžiagų modifikavimą bet kuriame medžiagos taške [1]. Gerai žinoma, kad medžiagos sąveika su lazerio pluoštu priklauso nuo krintančios pluošto bangos ilgio, impulso trukmės, pasikartojimo dažnio, pluošto formos, bei pačios medžiagos savybių. Dėl generavimo paprastumo mikroapdirbimui dažniausiai yra naudojama fundamentalioji Gauso pluošto moda [2]. Tačiau Gauso pluoštas turi trūkumų: jo židinio taškas ir poveikio zona (Reilėjaus ilgis) priklauso nuo pluošto bangos ilgio ir naudojamo optinio elemento skaitinės apertūros. Tai reiškia, kad tradiciniam objektyvui, mažas židinio taško dydis atitinka trumpą poveikio zoną [3]. Kadangi skaidrių medžiagų apdirbime reikalingi pluoštai, kurie formuotų ilgus ir siaurus plazmos kanalus, tai atsirado pluoštų, kurie tapo pranašesniais už Gausinę modą. Viena iš tokių alternatyvų yra įvairių eilių Beselio pluoštai [3]. Šie pluoštai yra ypatingi tuo, kad sklisdami terpe nepatiria difrakcijos ir turi žymiai ilgesnę poveikio sritį palyginus su Gausiniais pluoštais [4]. Nulinės eilės Beselio pluoštai centre turi intensyvumo maksimumą, o aukštesnių eilių Beselio pluoštų centre yra tamsi dėmė - intensyvumo minimumas, apsuptas pakaitiniais ryškiais ir tamsiais žiedais [5]. Be to, aukštesnės eilės Beselio pluoštai turi sraigtinį fazės frontą, dėl ko dar yra vadinami optiniais sukūriais ir pasižymi orbitiniu judesio kiekiu momentu [6]. Dėl šios savybės, optiniai sukūriai yra plačiai naudojami optinėse gaudyklėse ir atomų mikromanipuliacijose [7], bei optinėje komunikacijoje [8]. Taip pat egzistuoja ir sudėtiniai sukūriniai pluoštai, kurie susidaro vykstant dviejų ar daugiau, skirtingus topologinius krūvius turinčių, optinių sukūrių superpozicijai. Tokie pluoštai pasižymi unikalių formų intensyvumo skirstiniais ir turiningesne sukūrių struktūra, nei atskiri sudedami pluoštai.

Šiame darbe mes demonstruojame būdą sukūrti dvejų skirtingų topologinių krūvių bei erdvinį dažnių Beselio pluoštų superpozicijas. Iš pradžių buvo atliktas tokių pluoštų skaitmeninis modeliavimas. Norėdami patikrinti modeliavimo rezultatus, mes atkartojome šiuos pluoštus eksperimentiškai erdvinio šviesos modulatoriaus pagalba. Galiausiai lydyto kvarco bandinyje buvo įrašyta sudėtinio pluošto fazinė kaukė, taip sukuriant geometrinės fazės elementą, kurio pagalba šie pluoštai gali būti naudojami skaidrių medžiagų lazeriniam mikroapdirbimui.



1 pav. Skaitmeniškai sumodeliuoti sudėtinių sukūrių Beselio pluoštų intensyvumų skirstiniai. Visais atvejais topologinis krūvis $n = 0$ ir kūgio kampas $\theta_1 = 0,52$ rad, o m ir θ_2 atitinkamai yra lygūs: a) 2 ir 0,26 rad; b) 3 ir 0,17 rad; c) 4 ir 0,12 rad; d) 6 ir 0,08 rad.

Literatūra

- [1] J. Wilson and, J.F.B. Hawkes. Lasers, *Principles and Applications*. Prentice-Hall international series in optoelectronics. Prentice Hall, 1987.
- [2] Inam Mirza, Nadezhda M. Bulgakova, Jan Tomáščík, Václav Michálek, Ondřej Haderka, Ladislav Feketeand Tomáš Mocek. “Ultrashort pulse laser ablation of dielectrics: Thres-holds, mechanisms, role of breakdown”. *Scientific Reports* 6.1 (2016).
- [3] Pinghui Wu, Chenghua Suiand Wenhua Huang. “Theoretical analysis of a quasi-Besselbeam for laser ablation”. *Photonics Research* 2.3 (2014).
- [4] D.McGloin and K.Dholakia. „Bessel Beams: Diffraction in a new light“. *Contemporary Physics* 46.1 (2005).
- [5] Ronald Rop, Angela Dudley, Carlos López-Mariscal and Andrew Forbes. “Measuring the rotation rates of superpositions of higher-order Bessel beams”. *Journal of Modern Optics* 59.3 (2012).
- [6] Allen, M. W. Beijersbergen, R. J. C. Spreeuwand J. P. Woerdman. “Orbital angular momentum of light and the transformation of Laguerre-Gaussian laser modes”. *Physical Review A* 45.11 (1992).
- [7] Garcés-Chávez, K. Volke-Sepulveda, S. Chávez-Cerda, W. Sibbettand K. Dholakia. “Transfer of orbital angular momentum to an optically trapped low-index particle”. *Physical Review A* 66.6 (2002).
- [8] Jian Wang, Jeng-Yuan Yang, Irfan M. Fazal, Nisar Ahmed, Yan Yan, Hao Huang, Yon-gxiong Ren, Yang Yue, Samuel Dolinar, Moshe Turand et al. “Terabit free-space datatransmission employing orbital angular momentum multiplexing”. *Nature Photonics* 6.7 (2012).