

Silikatinio stiklo pjovimas asimetriniu Beselio-Gauso pluoštu

Asymmetrical Bessel-Gaussian beam for soda-lime glass cutting

Juozas Dudutis, Paulius Gečys, Rokas Stonys, Gediminas Račiukaitis
Fizinių ir technologijos mokslų centras, Savanorių pr. 231, 02300 Vilnius
juozas.dudutis@ftmc.lt

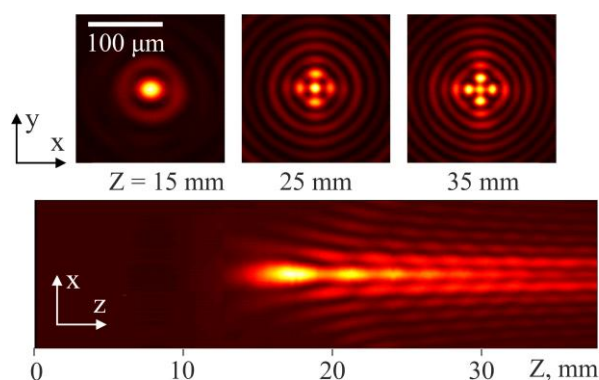
Stiklo pjovimui naudojami įvairūs lazeriniai metodai [1]. Itin tikslaus tiesioginės lazerinės abliacijos metodo našumą riboja įvairūs akumuliaciniai reiškiniai, spinduliuotės ir abliacijos produktų sąveika ir sklaida nuo pjūvio sienelių. Nesudėtingus kontūrus efektyviau išpjauti suformuojant modifikacijas stiklo tūryje ir atliekant mechaninį arba terminį perpjautų detalių atskyrimą. Tokiu būdu suformuojamas itin siauras pjūvio plotis, sumažinamas pjovimo produktų kiekis ir išpjautos detalės pasižymi aukštu sienelių statmeniškumu.

Modifikacijos storo stiklo padėklo tūryje gali būti suformuojamos skenuojant bandinį aštriai fokusuotu pluoštu skirtingame aukštyje, apdirbant šviesos gijomis arba panaudojant įvairius pluošto formavimo metodus. Vieni iš perspektyviausių yra Beselio pavidalo pluoštai, kurie pasižymi dideliu difrakciniu nuotoliu ir mažu centrines smailės diametru, taip pat yra atsparesni netiesinei sąveikai, sferinėms aberacijoms bei gali atsistatyti, kuomet dalis pluošto yra užblokuojama.

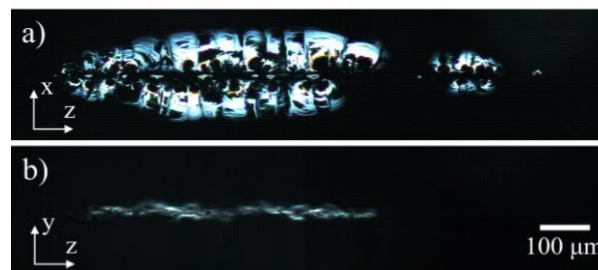
Beselio-Gauso pluoštas efektyviausiai formuojamas kūgine prizme - eksikonu, tačiau dėl technologinių apribojimų pagaminti optiniai elementai nukrypsta nuo idealaus kūgio formos ir turi užapvalintą viršūnę [2] bei elipsinį pagrindą [3]. Užapvalinta viršūnė lemia pluošto suformavimą didesniu atstumu nuo eksikono viršūnės, ašinio intensyvumo moduliacijas bei centrines smailės diametro mažėjimą didėjant pluošto sklidimo nuotoliui. Dėl eliptinio optinių elementų pagrindo atsiranda astigmatinės aberacijos, kurios eksikono su smailia viršūne atveju lemia pluošto centrines smailės simetrinį suskilimą į atskirus maksimumus, didėjant pluošto sklidimo nuotoliui. Užapvalintą eksikono viršūnę galima aproksimuoti sferiniu lęšiu, kurio astigmatinės aberacijos lemia elipsinio pluošto suformavimą [4], todėl tokiu elementu suformuotas pluoštas yra asimetrinis, tačiau pasižymi santykinai dideliu difrakciniu nuotoliu (1 pav.).

Asimetriniu Beselio-Gauso pluoštu paveikus stiklą, medžiagoje susiformuoja skersiniai įtrūkiai, kurie išplinta statmena pluošto sklidimo kryptimi, sutampančia su elipsinio pluošto ilgesniaja ašimi (2 pav.) [5]. Stiklo apdirbimui buvo naudojama Atlantic HE (Ekspla) lazerio fundamentinė harmonika (1064 nm) su 300 ps impulso trukme ir 1 kHz impulsų pasikartojimo dažniu. Beselio-Gauso pluoštas buvo formuojamas fokusuojant Gauso pluoštą 5° pagrindo kūgine prizme su užapvalinta viršūne ir elipsiniu pagrindu. Suformuoto skirstinio centrines smailės diametras buvo sumažintas 4F sistema. Tyrimų metu nustatyta, kaip keičiasi skersinių įtrūkių ilgis bandinio tūryje, keičiant impulso energiją. Maksimalus suformuotų įtrūkių ilgis siekė 180 μm, naudojant 2 mJ energijos impulsus.

Suformuoti skersiniai įtrūkiai, orientuoti išilgai pluošto skenavimo krypties, buvo panaudoti sparčiam 1 mm storio silikatinio stiklo pjovimui. Pjovimo procesas buvo optimizuojamas keičiant lazerio impulsų energiją, skirstinio padėtį vertikalia kryptimi ir pluošto skenavimo greitį. Maksimalus stabilaus pjovimo greitis siekė 240 mm/s.



1 pav. Eliptiniu eksikonu su užapvalinta viršūne suformuotas intensyvumo skirstinys XY ir XZ plokštumose.



2 pav. Stiklo tūryje suformuotų įtrūkių (a) išilgai ir (b) statmenai elipsinio pluošto ilgesniosios ašies optinio mikroskopo nuotraukos tamsaus lauko režime.

Reikšminiai žodžiai: subnanosekundinis lazeris, pluošto formavimas, Beselio-Gauso pluoštas, kūginės prizmės aberacijos, silikatinis stiklas, stiklo pjovimas.

Literatūra

- [1] S. Nisar, L. Li and M. A. Sheikh, Laser glass cutting techniques—A review, *J. Laser Appl.* **25**(4), p. 042010 (2013).
- [2] O. Brzobohaty, T. Cizmar and P. Zemanek, High quality quasi-Bessel beam generated by round-tip axicon., *Opt. Express* **16**(17), pp. 12688–12700 (2008).
- [3] X. Zeng and F. Wu, Effect of elliptical manufacture error of an axicon on the diffraction-free beam patterns, *Opt. Eng.* **47**(8), pp. 1–6 (2008).
- [4] T. Tanaka and S. Yamamoto, Comparison of aberration between axicon and lens, *Opt. Commun.* **184**, pp. 113–118 (2000).
- [5] J. Dudutis, P. Gečys, G. Račiukaitis, Non-ideal axicon-generated Bessel beam application for intra-volume glass modification, *Opt. Express*, **24**, pp. 28433-28443 (2016).