

Femtosekundiniu lazeriu indukuotos plazmos spektroskopiniai medžiagų tyrimai: plazmai indukuoti naudojamo lazerio bangos ilgio (UV ir IR) įtaka

Femtosecond laser-induced plasma spectroscopy studies of materials: influence of the laser wavelength (UV and IR) used to induce the plasma

Gytis Zaremba¹, Ona Balachninaite¹, Domas Paipulas¹, Virgilijus Vaičaitis¹

¹Vilniaus Universitetas, Fizikos fakultetas, Lazerinių tyrimų centras, Saulėtekio al. 10, LT-10223 Vilnius
ona.balachninaite@ff.vu.lt

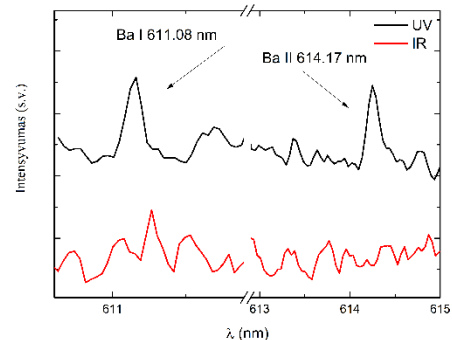
Lazeriu indukuotos plazmos spektroskopija (*angl.*: laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS)) yra plačiai naudojamas universalus įvairių medžiagų cheminei elementinei analizei atlikti [1]. Ultratrumpųjų femtosekundinės trukmės lazerių panaudojimas lyginant su nanosekundinių trukmių lazerių naudojimu LIBS pasižymi eile pranašumų kaip pavyzdžiui, mažesne bandinio pažeidimu [2], žemesniu abliacijos slenksčiu, geresniu signalo atkartojamumu ir t.t. [3]. Svarbus LIBS parametras yra lazerio, naudojamo plazmai indukuoti, spinduliuotės bangos ilgis. Manoma, kad bangos ilgio pasirinkimas LIBS matavimams yra svarbesnis ilgesniems, nanosekundinės trukmės, lazerio impulsams. Femtosekundinio LIBS atveju lazerio spinduliuotės ir medžiagos sąveikos mechanizmas yra labai skirtingas, plazmos sąveika su medžiaga yra minimali, femtosekundiniai impulsai sąveikauja su kietomis medžiagomis be reikšmingo šilumos perdavimo, todėl medžiaga praktiškai nesilydo. Femtosekundiniu lazeriu indukuotos plazmos medžiagoje parametrai bei spektrinio signalo priklausomybė nuo lazerio spinduliuotės bangos ilgio nebuvo išsamiai ištirta ir šiuo darbu tai iškeliamas kaip vienas iš tyrimo tikslų.

Šiame darbe buvo naudojami du skirtingi femtosekundinio Yb:KGW lazerio „Pharos“ (Light Conversion Ltd.) bangos ilgiai – fundamentinė (1030 nm) ir trečioji (343 nm) lazerio harmonikos, siekiant nustatyti lazerio bangos ilgio įtaką LIBS plazmos ir spektro parametrams. Buvo tirti O.F.H.C. vario (99,95+% grynumo), AISI 301 nerūdijančio plieno, borosilikatinio stiklo bei keramikos pavyzdžiai. Keramikos ir stiklo bandinių sudėtis sulyginimui papildomai buvo ištirta dispersiniu Rentgeno fluorescencijos spektrometru (WDXRF). Plazmos spektrų registravimui buvo naudojamas Mechelle-5000 spektrografas su integruota ICCD kamera (Andor Technology). Lazerio spinduliuotės energijos tankis indukuojant plazmą skirtingų bangos ilgių lazerio spinduliuote buvo palaikomas pastovus.

Plazmos temperatūra buvo įvertinta esant lokalias termodinaminės pusiausvyros sąlygoms, naudojant Bolcmano metodą. Esant 400–800 ns užlaikymui po lazerio šūvio, nustatyta plazmos temperatūra buvo 9000 K variui, 8000 K plienui ir 6000 K stiklo bandiniui, ir paklaidų ribose nebuvo stebima reikšmingo skirtumo indukuojant plazmą UV ar IR lazerio spinduliuote. Apskaičiuoti plazmos elektronų tankiai: $(1.2 \pm 0.4) \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ variui, $(1.4 \pm 0.4) \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ plienui, stiklui ir

eramikai reikšmingai nesiskyrė indukuojant plazmą UV ar IR lazerio spinduliuote. LIBS signalo ir triukšmo santykis (SNR) buvo įvertintas visiems tiriamiesiems bandiniams ir nustatyta, kad SNR reikšmingai išauga indukuojant plazmą femtosekundine UV lazerio spinduliuote: variui ~100%, plienui ~300%, stiklui ~400%, keramikai ~40%. LIBS signalo ir triukšmo santykio padidėjimas gali būti galimai grindžiamas naudojant UV lazerio spinduliuotę padidėjusiu daugiafotonės jonizacijos efektyvumu ir didesniu išabliuotos medžiagos bandiniuose tūriu.

Nustatyta, jog dėl didesnio gaunamo LIBS signalo/triukšmo santykio femtosekundinė UV lazerio spinduliuotė įgalina detektuoti spektrines linijas elementų, kurių koncentracija bandinyje yra mažesnė nei 0.2%, kaip parodyta 1 pav. su Ba I linijomis, registruotomis stiklo bandinio LIBS spektre.



1 pav. Stiklo bandinio LIBS spektrų palyginimas indukuojant plazmą femtosekundine UV (343 nm) ir IR (1030 nm) lazerio spinduliuote: Ba I spektro linijos stebimos indukuojant UV lazerio spinduliuote.

Reikšminiai žodžiai: lazeriu indukuota plazmos spektroskopija, femtosekundiniai lazerio impulsai, plazmos temperatūra, plazmos elektronų tankis.

Literatūra

- [1] A. Santagata, & Teghil, Roberto & Albano, G. & Spera, D. & Villani, P. & De Bonis, Angela & Parisi, G.P. & Galasso, Appl. Surf. Sci. **254**, 863–867 (2007).
- [2] C. Donnet, J. Granier, G. Vergé, Y. Bleu, S. Reynaud, and F. Vocanson, Appl. Opt. **58**, 2158–2165 (2019).
- [3] T. A. Labutin, V. N. Lednev, A. A. Ilyin, A. M. Popov, J. Anal. At. Spectrom. **31**, 90–118 (2016).