

## Ar egzistuoja Moore'o dėsnis optiniam atsparumui?

### Does the equivalent of Moore's Law exist for optical resistance?

Erikas Atkočaitis<sup>1</sup>, Marco Jupé<sup>2</sup>, Emilija Žutautaitė<sup>1</sup>, Linas Smalakys<sup>1</sup>, Kevin Kiedrowski<sup>2</sup>, Morten Steinecke<sup>2</sup>, Lars Herrero<sup>2</sup>, Lars Jensen<sup>2</sup>, Urtė Kimbaraitė<sup>1,3</sup>, Mindaugas Ščiuka<sup>3</sup>, Arūnas Varanavičius<sup>1</sup>, Gaudenis Jansonas<sup>1</sup>, Andrius Melninkaitis<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Laser Zentrum Hannover e.V., Hollerithallee 8 30419 Hannover, Vokietija

<sup>3</sup>UAB Lidaris, Šv. Stepono 27c-24, LT-01315 Vilnius, Lietuva

[erikas.atkocaitis@ff.vu.lt](mailto:erikas.atkocaitis@ff.vu.lt)

Lazerių optinių elementų atsparumas šviesai – sąlyginis terminas, matuojamas pažaidos lazerio spinduliuote slenksčiu (PLSS), kuris priklauso nuo daugybės veiksnių, susijusių su spinduliuotės savybėmis (pvz. bangos ilgiu, impulso trukme, ekspozicijos doze ir pan.) ir optiką sudarančių medžiagų bei aplinkos savybėmis. Kritinių lazerinių elementų PLSS daugeliu atvejų yra ribojantis maksimalią generuojamą lazerių galią veiksny, todėl visais laikais kėlė didelį lazerininkų bendruomenės susidomėjimą. Vis dėl to, absoliuti dauguma lazerinių sistemų dėl savo netiesinės prigimties gerai veikia tik gana siaurame parametrų rinkinio ruože, todėl dauguma optinio atsparumo tyrimų atliekami fiksuotomis sąlygomis, kurios nebūtinai yra prasmingos kitiems apšvietos režimams. Pvz., PLSS įvertintas nuolatinės veikos lazeriu, mažai turės bendro su pavienių fs trukmės impulsų sukeltu PLSS. Taigi, iškyla poreikis apibendrintiems dėsningumams nustatyti, kurie leistų prognozuoti PLSS vertes drastiškai keičiant apžvietos sąlygas plačiame parametrų ruože. Deja, globalūs optinio atsparumo tyrimai, kurie apimtų eilę veiksnių ar būtų didelio masto yra itin retai sutinkami literatūroje: geriausiu atveju PLSS priklausomybė nuo parametrų būna nagrinėjama vos kelių eilių intervale. Pvz., dažniausiai literatūroje galima sutikti lazerinės pažaidos priklausomybės nuo impulso trukmės tyrimus. Jau yra žinoma, jog PLSS priklausomybė nuo impulso trukmės yra

$$PLSS \sim \tau^x, \quad (1)$$

kur  $x \approx 0.5$ , kai  $\tau$  yra tarp 10 ps ir 100 ns, o trumpesnėms trukmėms  $x$  vertė krypta link  $\approx 0.3$  [1, 2]. Nors šios priklausomybės gautos dielektrikams lazerinėje technologijoje dažnai yra naudojamos ir metalinės dangos. Tačiau, metalinės dangos ilgą laiką nebuvo tyrinėjamos šiuo aspektu, kadangi jų optinis slenkstis yra gerokai žemesnis nei dielektrinių dangų.

Taigi, šiuo darbu siekėme atlikti didelio masto 8 metalinių (auksas, sidabras, volframas, tantalas, titanas, cinkas ir chromas), dviejų puslaidininkinių (silicio ir germanio) veidrodinių dangų, bei kelių dielektrinių dangų tyrimą, keičiant impulso trukmės 10 fs – 10 s ruože. Dauguma tirtų dangų buvo nusodintos ant borosilikatinio stiklo pagrindu, panaudojant RF magnetrono technologiją. Dielektrinės dangos buvo dengiamos ant LBO kristalų panaudojant jonapluoščio dulkinimo (IBS) technologiją. Pažaidos matavimai buvo atliekami daugiausiai ties 1030 nm ir 1064 nm bangos ilgiais

išlaikant fiksuotą 150  $\mu\text{m}$  efektyvųjį pluošto diametrą  $1/e$  lygmenyje. Tyrime buvo atlikti „1 į 1“ ir „S į 1“ matavimai pagal tarptautinį ISO21254 standartą [3]. Gauti matavimų rezultatai yra lyginami su prognostiniais teoriniais modeliais (pvz. terminiu modeliu arba elektronų griūties modeliu). LBO kristalų optinis atsparumas buvo tiriamas skaidrinančioms dangomis femto-, piko- ir nanosekundžių trukmių ruože ties 1064 nm bei 355 nm bangos ilgiais su 35  $\mu\text{m}$  pluošto diametru  $1/e^2$  lygmenyje. Atlikus eksperimentus, buvo siekiama įvertinti PLSS priklausomybę nuo impulso trukmės kiekvienam bangos ilgiui, atsižvelgiant į skirtingas pažaidos modas (spalviniam pakitimui ir katastrofinei pažaidai). Palyginus „1 į 1“ bei „100000 į 1“ PLSS vertes LBO kristalams, buvo pastebėtas itin reikšmingas nuovargio efektas: didinant ekspozicijos dozę PLSS sumažėja daugiau nei 80% UV bangos ilgių srityje, o IR srityje PLSS sumažėja 40 – 60%. Iš gautų pažaidos matavimo rezultatų bei morfologijų buvo nustatytos empirinės PLSS priklausomybės nuo impulso trukmės; sudarytas empirinis modelis tiek metalinių-puslaidininkinių, tiek dielektrinių dangų atvejams.

*Reikšminiai žodžiai: PLSS, trukmė, AR, HR, metalai, pažaida, dielektrikai*

Projektas bendrai finansuotas iš Europos regioninės plėtros fondo lėšų (projekto Nr. 1.2.2-LMT-K-718-03-0004) pagal dotacijos sutartį Lietuvos mokslo taryba (LMTLT). Optinio atsparumo tyrimai nuolatinės veikos režime atlikti kartu su UAB LIDARIS (bendradarbiavimo sutartis BS-120000-1018, 2015-04-30).

#### Literatūra

- [1] B. C. Stuart, M. D. Feit, A. M. Rubenchik, B. W. Shore, and M. D. Perry, Laser-induced damage in dielectrics with nanosecond to subpicosecond pulses, Phys. Rev. Lett., **74**(12), 2248–2251, (1995), doi: 10.1103/PhysRevLett.74.2248.
- [2] M. Mero, J. Liu, W. Rudolph, D. Ristau, and K. Starke, Scaling laws of femtosecond laser pulse induced breakdown in oxide films, Phys. Rev. B - Condens. Matter Mater. Phys., **71**(11), 1–7, (2005), doi: 10.1103/PhysRevB.71.115109
- [3] ISO 21254-1:2011, International Standard International Standard, 2006, 13, (2011)