

# Dviejų pakopų čirpuotų skaidulinio užkrato lazerio impulsų Yb:YAG stiprintuvas skirtas OPCPA kaupinimui

## Two-cascaded Yb:YAG amplifier of chirped fiber laser seed pulses for OPCPA pumping

Paulius Mackonis<sup>1</sup>, Augustinas Petrulėnas<sup>1</sup>, Aleksėj Rodin<sup>1,2</sup> ir Eimantas Zopelis<sup>1</sup>

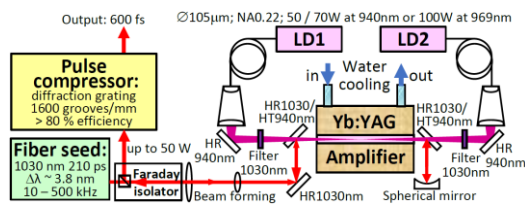
<sup>1</sup>Fizinių ir technologijos mokslų centras, Kieto kūno lazerių laboratorija, Savanorių pr. 231, 02300 Vilnius

<sup>2</sup>Ekspla UAB, Savanorių pr. 237, 02300 Vilnius

[aleksej.rodin@ftmc.lt](mailto:aleksej.rodin@ftmc.lt)

Skaiduliniai lazeriai, kuriuose yra taikoma pasyvioji modų sinchronizacija, yra vertinami dėl geros pluošto kokybės, išvadinių parametrų stabilumo ir kompaktiškumo. Galios ir energijos stiprinimas Nd:YAG [1] ir Yb:YAG [2] čirpuotų impulsų šviesolaidiniuose monokristaliniuose stiprintuvuose (toliau – CPA, angl.: Chirped Pulse Amplifier) išsiskiria kaupinimo pluošto sklidimu ir geresniu šilumos perdavimu. Lyginant Nd:YAG ir Yb:YAG, iterbiu legiruoti kristalai pasižymi daug mažesniu santykinu šilumu. Pagrindinis šio tyrimo tikslas - sukurti geriausią dviejų pakopų CPA konfigūraciją 1 TW klasės OPCPA kaupinimui.

Pirmoje, dviejų praėjimų pro kristalą, CPA pakopoje (1 pav.) buvo ištirtas monokristalinis Yb:YAG šviesolaidis:  $\varnothing 1 \times 40$  mm bei didesnio skersmens Yb:YAG strypai:  $5 \times 5 \times 5$  mm<sup>3</sup>,  $5 \times 5 \times 20$  mm<sup>3</sup> ir  $2 \times 2 \times 20$  mm<sup>3</sup>. Tyrimuose taikyti 210 ps trukmės,  $\sim 3.8$  nm spektro pločio, 550 mW maksimalios vidutinės išvadinės galios, esant 100 Hz – 500 kHz pasikartojimo dažniams užkrato impulsai. Didžiausia skaidulinio užkrato lazerių impulsų energija, esant 10 kHz pasikartojimo dažniui, siekė 15  $\mu$ J. Išilginam, vieno arba dviejų galų, kristalo kaupinimui buvo naudojami didelio skaičiaus 50 W, 70 W ir 125 W galios 940 nm bangos ilgio lazeriniai diodai su integruota  $\varnothing 105$   $\mu$ m šerdies skaidula. Atlikti tyrimai ir su 969 nm bangos ilgiu, kai lazerinio diodo galia siekė 100 W. Indukuotas šiluminis lęšis buvo kompensuojamas sferiniu veidrodžiu (1 pav.).

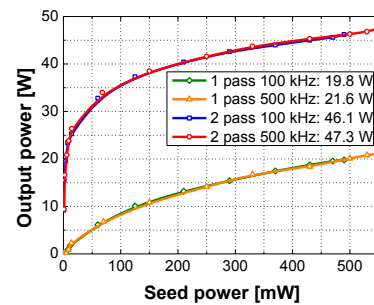


1 pav. Pirmos Yb:YAG CPA pakopos principinė schema

Antros, dviejų praėjimų, CPA pakopos kaupinimui naudoti skaiduliniai multipleksoriai apjungti septinių lazerinių diodų impulsai. Jų bendra išvadinė energija siekė  $\sim 1.5$  J ties 940 nm bangos ilgio esant 100 Hz pasikartojimo dažniui. Šioje CPA pakopoje naudotas  $5 \times 5 \times 20$  mm<sup>3</sup> 2 % at. Yb:YAG strypas.

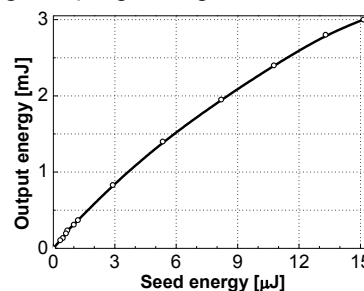
Ilydytų naudojant ploną indžio sluoksnį, mažo iterbio legiravimo laipsnio, YAG monokristalų technologija buvo sėkmingai išstobulinta didelės išvadinės galios ir energijos faziškai moduluotų impulsų stiprintuvuose. Juose taikomas didelio skaičiaus nuolatinis arba impulsinis kaupinimas esant 940 nm arba 969 nm bangos ilgiams. Optimizavus dviejų praėjimų CPA, skaidulinio

užkrato lazerio impulsų stiprinimo koeficientas siekė  $\sim 42$  dB. Tokiomis sąlygomis pluošto sklidimo kokybė –  $M^2 \sim 1.1 - 1.15$ . Maksimali išvadinė galia siekė  $> 47$  W, esant 500 kHz pasikartojimo dažniui (2 pav.).



2 pav. Pirmos Yb:YAG CPA pakopos vidutinės išvadinės galios priklausomybė nuo užkrato lazerio galios.

Nepaisant išvadinių impulsų spektro pločio susiaurėjimo po stiprinimo iki 1.8 – 2 nm, taikant impulsų spūdą su 1600 mm<sup>-1</sup> režių tankio difrakcine gardele, industriniam partneriui UAB Ekspla pademonstruotas derinamos impulsų trukmės: nuo kelių ps iki 600 fs hibridinio skaidulinio-kietakūnio lazerio maketas. Naudojant Pokelso narvelio impulsų retintuvą, po pirmos stiprinimo pakopos pademonstruoti  $\sim 3$  mJ išvadinės energijos (3 pav.), 100 Hz – 10 kHz pasikartojimo dažnio impulsai. Antroje CPA pakopoje šie impulsai, taikant impulsinį kaupinimą, stiprinami iki kelių dešimčių mJ. Naudojant 1842 mm<sup>-1</sup> režių tankio difrakcinę gardelę impulsai spaudžiami iki 1 ps.



3 pav. Pirmos Yb:YAG CPA pakopos išvadinės energijos priklausomybė nuo užkrato lazerio energijos.

Ši projektą finansavo Lietuvos mokslo taryba pagal LAT-10/2016 sutartį.

*Reikšminiai žodžiai:* Yb:YAG lazeris, OPCPA, impulsų stiprinimas, impulsų spūda.

### Literatūra

- [1] A.M. Rodin et al., Proc. SPIE, **9342** (2015), doi: 10.1117/12.2079294.
- [2] X. Délen et al., Opt. Lett., **38**, 109 – 111 (2013), doi: 10.1364/OL.38.000109.