

DESY FLASH laikinės-skyros eksperimentams naudojamų lazerinių sistemų apžvalga ir ateities planai

Pump-probe lasers at DESY FLASH facility: current status and future upgrades

Skirmantas Ališauskas¹

¹Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY, Notkestr. 85, 22607 Hamburg, Germany
skirmantas.alisauskas@desy.de

Vokietijoje, Hamburge esantis laisvųjų elektronų lazeris FLASH (angl. *Free-electron LASer (FEL) in Hamburg*) yra aukšto pasikartojimo dažnio (iki 5000 impulsų per sekundę) FEL, generuojantis femtosekundinės trukmės derinamo bangos ilgio rentgeno/ultravioletinę spinduliuotę (4-90 nm), o vieno impulso energija gali siekti 500 μ J [1, 2]. Trumpi FEL impulsai yra ypač patrauklūs laikinės-skyros eksperimentams (angl. *pump-probe*), kuriuose šviesos impulsai naudojami tyrinėti sistemos dinaminės savybės, kur vienas lazerio impulsas naudojamas inicijuoti (angl. *pump*) tam tikrą reakciją, o antrasis impulsas naudojamas zonuoti (angl. *probe*) pirmojo impulso sukeltą dinamiką. Tai leidžia, pavyzdžiui, nuskaityti fotochemines reakcijas su kelių dešimčių femtosekundžių laikine skyra. Apie 80 % mokslinių tyrimų FLASH papildomai reikalauja ir spinduliuotės UV-NIR spektrinėje srityje. Pagrindinė DESY užduotis yra suteikti mokslininkams prieigą prie FLASH spinduliuotės, kur mokslininkai gali vykdyti eksperimentus, trunkančius iki vienos savaitės, 24 valandas per parą. Daugiau informacijos apie aplikacijų padavinimą galima rasti <https://door.desy.de>.

FLASH impulsus spinduliuoja voromis (angl. *burst*): impulsai iki 1 MHz tankiu yra spinduliuojami tik 0,8 ms su 10 Hz pasikartojimo dažniu. Šis specifinis FEL impulsų išdėstymas kelia iššūkius optiniams lazeriams, kurių spinduliuotė turi būti sinchronizuota su FEL spinduliuotę laikinės-skyros eksperimentuose. Ypač populiarios titano-safyro lazerinės sistemos lengvai generuoja milidžaulinius kelių dešimčių femtosekundžių trukmės impulsus, bet jos yra ribotos vidutinės galios ir jų impulsų pasikartojimo dažnis neviršija 10 kHz, todėl negali būti taikomos FLASH, bet yra plačiai naudojamos mažo pasikartojimo FEL centruose. Tuo tarpu, iterbio (Yb) lazerinės sistemos gali siekti kilovatines (kW) galias, bet jų impulsų trukmė yra ribojama stiprinimo juosta, ir dažniausia viršija kelis šimtus femtosekundžių. Norint generuoti kelių dešimčių femtosekundžių trukmės impulsus reikalingus laikinės-skyros eksperimentams, mes Yb lazerines sistemas naudojame kaip kaupinimo šaltinius čirpuotų impulsų optiniam parametriniam stiprintuvui (angl. *OPCPA*) kaupinti. OPCPA technologija mums leidžia generuoti derinamo bangos ilgio (centrinis bangos ilgis 700-900 nm) ir spektrinio pločio impulsus, kurių trukmė yra derinama nuo 15 fs iki 100 fs. Deja, OPCPA turi didelį trūkumą – mažą kvantinį efektyvumą (~10%), todėl tai savo ruožtu reikalauja naudoti didelės galios kaupinimo lazerius (mūsų atveju 0,5-5 kW).

Kaip alternatyva neefektyviam OPCPA, galima naudoti tiesiogines impulsų spūdos (angl. *post-compression*) schemas. Tokie metodai remiasi spektro plėtra dėka fazės moduliacijos (angl. *SPM*) netiesinėje terpėje, ir spektriškai išplėsto impulso fazės korekcija. Neseniai atsirado naujas impulsų spūdos metodas, naudojant impulsų spektrinę plėtra daugelio lėkio celėse (angl. *multi-pass cell* arba *MPC*) [3]. Šis metodas pasižymi didele impulsų laikine spūda (iki 40 kartų) ir efektyvumu (>90 %, įskaitant kompresorių) bei yra kompaktiškas. Pirmieji MPC prototipai jau yra įdiegti FLASH lazerinėse laboratorijose ir jų spinduliuotė jau naudojama laikinės-skyros eksperimentams [4, 5].

Dėl visos lazerinės sistemos dydžio ir sudėtingumo mes įdiegėme lazerines sistemas laboratorijose, iš kurių čirpuoti impulsai yra transportuojami keliasdešimt metrų iki optinių stalų netoli laikinės skyros eksperimento vietų (FLASH vienu metu gali teikti FEL spinduliuotę dviem eksperimentams į skirtingas tyrimo stotis [2]), kur impulsai yra suspaudžiami ir galiausiai pluoštai yra fokusuojami į vykdomų mokslinių tyrimų bandinius.

Literatūra

- [1] W. Ackermann *et al.*, Nat. Photonics **1**, 336 (2007).
- [2] B. Faatz *et al.*, New J. Phys. **18**, 062002 (2016).
- [3] J. Schulte *et al.*, Opt. Lett. **41**, 4511 (2016).
- [4] A-L. Viotti *et al.*, J. Synchrotron Rad. **28**, 36 (2021).
- [5] M. Seidel *et al.*, Laser Photonics Rev. **16**, 2100268 (2022)