

# Plačiajuostės terahercų dažnio spinduliuotės generavimas ore

## Generation of broadband terahertz radiation in air

Karolis Adomavičius, Maksym Ivanov, Žilvinas Svirskas ir Virgilijus Vaičaitis  
Vilniaus universiteto Lazerinių tyrimų centras, Saulėtekio al. 10, LT-10223 Vilnius  
Virgilijus.Vaicaitis@ff.vu.lt

Terahercų (THz) dažnio elektromagnetinės spinduliuotės spektro sritis apima dažnius nuo maždaug 0,1 THz iki 10 THz, o ją atitinkantys bangos ilgiai yra nuo 3 mm iki 30  $\mu\text{m}$ . Tokia spinduliuotė vis dažniau randa taikymų tiek moksle, tiek pramonėje ir net šiuolaikinėse saugumo sistemose. Platesnį šių technologijų vystymąsi stabdo mažas terahercų dažnio spinduliuotės šaltinių efektyvumas, todėl nuolat ieškoma naujų ir efektyvių tokios spinduliuotės generavimo metodų. Vienas iš perspektyviausių didelės smailinės galios THz spinduliuotės generavimo metodų yra femtosekundinės trukmės lazerio impulsų dažnio maišymas dujų (įskaitant ir orą) plazmoje, kuriame yra pačiais lazerio impulsais [1,2]. Tokiu būdu generuojamos spinduliuotės savybės dar nėra iki galo ištyrtos, o ir pats generavimo mechanizmas iki šiol nėra visiškai aiškus, todėl šiame darbe mes pateikiame terahercų dažnio spinduliuotės, generuojamos oro plazmoje, sukurtoje, naudojant bichromatinį femtosekundinius lazerio impulsus, tyrimų rezultatus.

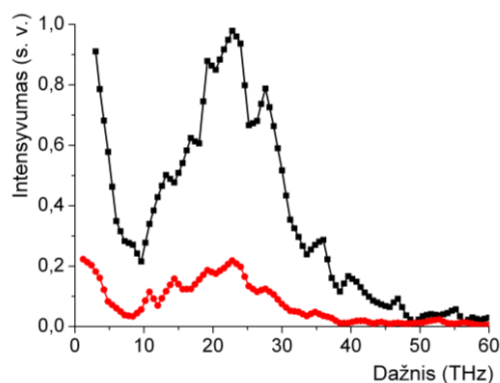
Eksperimento metu buvo naudojamas Ti:Safyro lazeris (impulso energija –iki 8 mJ, trukmė –apie 35 fs, bangos ilgis  $\approx 791$  nm, pasikartojimo dažnis –1 kHz). Kadangi terahercų dažnio spinduliuotės generacijos efektyvumas keliasdešimt ar net šimtus kartų padidėja, naudojant bichromatinį kaupinimą, oro žadinimui kartu su fokusuotais (lęšio židinio nuotolis –30 cm) 791 nm bangos ilgio šviesos impulsais buvo naudojama ir antroji šio lazerio harmonika, generuojama 100  $\mu\text{m}$  storio netiesiniame BBO kristale. Energinės generuojamų THz impulsų savybės buvo analizuojamos, naudojant itin jautrų kalibruotą piroelektrinį kompanijos "Spectrum detector Inc" THz dažnio radiometrą, o spektrinės – naudojant Maikelsono (Michelson) interferometrą.

Naudojant piroelektrinį energijos detektorių, buvo rastos optimalios THz spinduliuotės generavimo sąlygos (žadinimo impulsų energija, jų fokusavimo sąlygos ir pan.). Be to, detektorių stumdant skersai optinės ašies ir kiekviename taške registruojant jo parodymus, buvo ištyrta ir erdvinės generuojamo THz pluošto savybės. Taip buvo nustatyta, kad generuojamos spinduliuotės pluoštas turi kūgio, kurio puskampis –apie 2 laipsniai, formą, tačiau šį pluoštą buvo galima efektyviai kolimuoti ir fokusuoti, naudojant du papildomus parabolinius veidrodžius.

Maikelsono interferometras buvo sudarytas iš plono pluošto daliklio ir dviejų plokščių veidrodėlių. Vieną veidrodėlį stumdant išilgai optinės ašies, buvo registruojamas nuo abiejų veidrodėlių atspindėtų THz impulsų laikinės interferencijos signalas. Silpnų elektrinių signalų, gaunamų iš piroelektrinio

detektoriaus, stiprinimui buvo naudojamas sinchroninis stiprintuvas, kuris ne tik padidindavo detektoriaus signalų amplitudę, bet ir sumažindavo elektrinius triukšmus. Šie duomenys buvo siunčiami į personalinį kompiuterį, kur jie buvo apdorojami ir analizuojami. Personalinis kompiuteris taip pat valdė ir transliacinį staliuką, ant kurio buvo pritvirtintas judantis veidrodėlis, todėl matavimai buvo visiškai automatizuoti.

Atlikus laikinės interferencijos signalų Furje transformaciją, buvo randamas ir THz impulsų spektras, kurio plotis bei forma praktiškai nekito, keičiant eksperimento parametrus (žadinimo galią, fokusavimo sąlygas ir pan.). Tipiški ore generuojamų THz impulsų spektrai parodyti 1 pav. Matome, jog šių impulsų spektro plotis siekia iki 50 THz, o pats spektras yra gana tolygus (išskyrus sritį ties 8 THz), kas leidžia jį naudoti ir plačiajuosčiams spektroskopiniams tyrimams. Taip, naudojant šią metodiką, buvo išmatuota 0,5 mm storio silicio plokštelės sugertis, aiškiai rodanti Si fononinius rezonansus 12-46 THz srityje, kas gerai atitinka kitais metodais gautus duomenis.



1 pav. Tipiški terahercų dažnio spinduliuotės impulsų spektrai, gauti, naudojant 5 (viršutinė kreivė) ir 3 mJ energijos (apatinė kreivė) lazerio impulsus.

Be to, buvo pademonstruota, jog THz impulsų generavimo efektyvumas stipriai (iki 50%) sumažėja, THz spinduliuotę generuojančią oro sritį paveikus papildomu, iš anksto suformuotu, plazmos filamentu, taigi, šis metodas leidžia tirti ir lazeriu sukurtos plazmos savybes (jonizuotų dalelių erdvinį pasiskirstymą, tankį, gesimo konstantas ir pan.).

*Reikšminiai žodžiai: lazeris, oras, terahercai, plazma, spektroskopija.*

### Literatūra

- [1] D.J. Cook, R.M. Hochstrasser, Opt. Lett. 25, 1211 (2000).
- [2] V. Pyragaitė, V. Smilgevičius, K. Steponkevičius, B. Makuškas, and V. Vaičaitis, JOSA B 31, 1430 (2014).