

# Netiesinė terahercų spinduliuotės detekcija su grafeno lauko tranzistoriniais detektoriais

## Non-linear terahertz detection with graphene field-effect transistor terahertz detectors

Domantas Vizbaras<sup>1</sup>, Kęstutis Ikamas<sup>1,2</sup>, Ignas Nevinskas<sup>3</sup>, A. A. Generalov<sup>4</sup>, Alvydas Lisauskas<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Taikomosios elektrodinamikos ir telekomunikacijų institutas, Vilniaus Universitetas, LT-10257, Vilnius, Lietuva

<sup>2</sup>Generolo Jono Žemaičio Lietuvos karo akademija, Šilo 5A, 10322, Vilnius, Lietuva

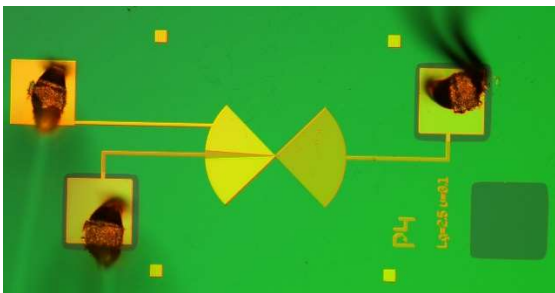
<sup>3</sup>Fizinių ir technologijos mokslų centras, Saulėtekio al. 3, LT-10257 Vilnius, Lietuva

<sup>4</sup>VTT Technical Research Centre of Finland LTD, P.O. Box 1000, FI-02044 VTT

[domantas.vizbaras@ff.vu.lt](mailto:domantas.vizbaras@ff.vu.lt)

Viena iš naujų, terahercų (THz) srityje dideles perspektyvas turinčių medžiagų – vieno atomų sluoksnio anglies alotropas – grafenas. Literatūroje pademonstruota, kad grafeno tranzistoriuose (GFET) pasiekiamas elektronų judris gali būti labai aukštas ( $2 \cdot 10^5 \text{ cm}^2/(\text{Vs})$ ), o jų soties greitis yra artimas Fermi greičiui ( $10^6 \text{ m/s}$ ) [1]. Taip pat grafenas, nors ir neturintis draustinių energijų tarpo, pasižymi stipriu netiesiškumu infraraudonos ir optinės spinduliuočių diapazonuose. Šis reiškinys siejamas su tarpjuostinių elektronų dinamika [2]. Literatūroje pademonstruota net 7-os harmonikos generacija, kai grafeno sluoksnis yra apšvitinamas intensyvia THz spinduliuote [3]. Šiame darbe parodyta, kad stiprų elektrinio atsako į THz spinduliuotę netiesiškumo pasireiškimą galima stebėti ir grafeno lauko tranzistoriuose.

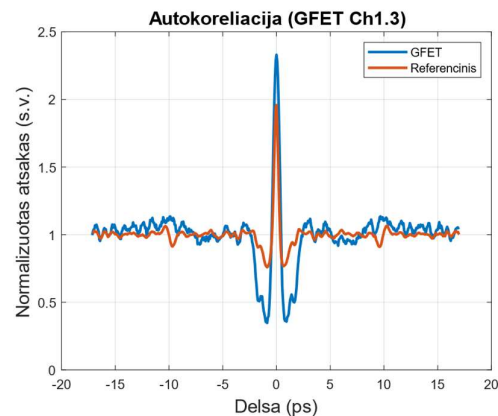
Tirtos GFET struktūros pagamintos iš vienasluoksnio, nusodinto iš cheminės garų fazės, grafeno. Elektromagnetinės sąveikos plačiąjuostiškumui užtikrinti įdiegtos peteliškės tipo antenos (jų skersmuo 240  $\mu\text{m}$ , 1 pav.). Detektoriai priklijuoti prie laikiklių (PCB), kuriuose paliktas Si langas, kad būtų galima realizuoti THz spinduliuotės įvedimą iš padėklo pusės. Spinduliuotės fokusavimui į anteną naudojamas 6,8 mm aukščio ir 12 mm skersmens hiperhemisferinis Si lęšis. Detektorių darbinę įtampos parinkimui ir detektuoto signalo stiprinimui naudota savadarbė maitinimo plokštė su žematriukšmiu stiprintuvu. Daugiau informacijos apie grafeno detektorius galima rasti darbe [4].



1 pav. GFET THz detektorius.

Eksperimento metu detektorius buvo apšvitinamas trumpais THz impulsais. Jie generuoti raudonos spalvos (780 nm), 80 fs trukmės lazeriu žadinamos žematemperatūrio GaAs fotoantenos. Atsako spektro matavimams naudotas Michelson'o interferometras. Referenciniai matavimai padaryti su „Tydex“ Golėjaus narveliu.

Netiesinio atsako grafeno detektoriuose matavimai atlikti keičiant įtaiso darbo tašką – tranzistoriaus užtūros įtampą, ir THz impulsų galią. Vienas iš gautų rezultatų pateiktas 2-ame paveiksle. Interferograma demonstruoja didesnį nei du kartus signalo padidėjimą ties nuline delta, bei netiesinius iškraipymus šoniniuose minimumuose. Tai rodo, kad grafeniniuose įtaisuose pasireiškia ne tik sotinimo, bet ir aukštesnės nei 2 laipsnio momentinio atsako į THz spinduliuotės galią charakteristikos. Tokio paties pobūdžio netiesiškumai stebėti prie kelių tranzistoriaus užtūros įtampų (tiek neigiamų, tiek teigiamų,  $\pm 1,5 \text{ V}$  diapazone) ir spinduliuotės galios (antenos įtampa parinkta nuo 20 V iki 100 V intervale). Šis reiškinys gali įtakoti ir aukštesnių harmonikų generaciją, bei būti panaudotas THz spinduliuotei generuoti.



2 pav. Išmatuotos GFET THz detektoriaus (ties 1,4 V užtūros įtampa) ir Golėjaus narvelio atsako į THz impulsą (antenos įtampa – 64 V) interferogramos.

*Reikšminiai žodžiai: grafenas; netiesiniai reiškiniai; teraherciai; jutikliai; lauko tranzistoriai*

### Literatūra

- [1] J.-H. Chen et al., Nat Nanotechnol, 3, 4, 2008.
- [2] H. A. Hafez et al., Advanced Optical Materials, t. 8, nr. 3, 2019.
- [3] H. A. Hafez et al., Nature, t. 561, nr. 7724, 2022
- [4] D. Vizbaras, et al., LPJ, vol. 62, no. 4, Dec. 2022.