

## PUSLAIDININKINIŲ GaN STRUKTŪRŲ TAIKYMAI THZ IR IR SPEKTRO RuoŽuose

Justinas Jorudas, Vytautas Janonis, Daniil Pashnev, Roman Balagula, Ignas Grigelionis,  
Liudvikas Subačius, Artūr Šimukovič, Simonas Indrišiūnas, Natalia Alexeeva,  
Surya Revanth Ayyagari, Irmantas Kašalynas

Fizinių ir Technologijos Mokslų Centras (FTMC), Saulėtekio al. 3, LT-10257 Vilnius, Lithuania  
irmantas.kasalynas@ftmc.lt

Puslaidininkinių jutiklių ir šaltinių kūrimas teraherciniame (THz) ir infraraudonajame (IR) spektro ruožuose susijęs su didelės galios, aukšto dažnio elektronikos ir fotonikos poreikiu [1,2]. Unikaliomis nitridinių puslaidininkinių medžiagos fizikinės savybės lėmė GaN technologijų atsiradimą 2014 metais Lietuvoje, FTMC [3] bei intensyvius įvairių GaN struktūrų tyrimus ir taikymus nuo THz iki IR spektro ruožuose [4-7].

Šiame pranešime aptarsime derinamo dažnio emiterius, kuriuose naudojami plazmonų-fononų sąveikos ypatumai, vykstantys puslaidininkinėse GaN struktūrose [8-10]. Pasirinkus AlGaIn/GaN/SiC didelio elektronų judrio tranzistorinės (HEMT) struktūras su dvimatėmis elektronų dujomis (2DEG) ir optimizavus elektrinių kontaktų charakteristikas [11,12], ištyrėme dispersinius 2D plazmonų dėsnius bei elektronų efektinės masės priklausomybę temperatūrų ruože 77-300 K naudojant THz spektroskopiją su laikine skyra [9,13]. Nustatyti plazmonų rezonansiniai ypatumai pralaidumo amplitudės ir fazės spektruose, kur plazmono dažnį atitinka minimumo ir didžiausio gradiento taškai atitinkamuose spektruose, leido pasiūlyti paprastesnį integralinį sąryšį rezonansų aplinkoje tarp spektrų, nei žinomas Kramerso-Kronigo sąryšis. Signalai fazės spektruose, būdami mažiau jautrūs gardelės defektams nei, kad amplitudžių spektruose, leido stebėti rezonansinius 2D plazmonų ypatumus net iki kambario temperatūros bei aprašyti elektronų efektinės masės priklausomybę nuo temperatūros empirine formule. Nustatyta, kad nuo 134 K temperatūros elektrono efektyvi masė nuo nominalios  $0.22 m_0$  vertės pradeda didėti netiesiškai, o temperatūroje 295 K yra apie  $0.34 m_0$ . Elektrono masės renormalizacija stebėta eksperimentiškai įvairiose komercinėse AlGaIn/GaN HEMT struktūrose [6,13,14].

Be to, ištyrus paviršinių plazmonų-fononų-polaritonų (SPPHP) dispersijos dėsnius sekliose n-tipo GaN gardelėse, nustatėme, kad išskirtinai SPPHP padidina spinduliavimo efektyvumą itin siaurame spektro ruože skersinio optinio fonono aplinkoje, kur efektyvumas pasiekia iki 100 %. Tokie hibridiniai SPPHP leidžia sukurti IR ir THz ruožo šaltinius, kurie kaupinami elektriškai spinduliuoja normalės kryptimi pasirinkto dažnio šviesos pluoštelį su aukšta spektrine kokybe (kvazi-monochromatinis) ir dideliu erdvinio koherentiškumu (maža skėstis) [8,15].

Verta pažymėti, kad sukurtuose emiteriuose darbinį dažnį galima keisti arba sklendės įtampa, prijungta prie ekranuotų 2DEG, gardelės temperatūra, arba paviršinės gardelės parametrų inžinerija, apgalvotai parenkant gardelės parametrus ar polinio puslaidininkio legiravimo laipsnį. Deja, elektronų plazmos savųjų svyravimų slopinimo koeficientas yra didelis, o tai lemia, kad 2D plazmoninių šaltinių spektrinė kokybė yra vis dar nepakankama ir gerokai žemesnė, nei SPPHP pagrindu pagamintų šaltinių. Tačiau, galimybė 2D plazmonų rezonansinį dažnį valdyti išorine įtampa išlieka patraukli įvairiems praktiniams taikymams [10].

**Padėka.** Tyrimus remia LMT per projektą KOTERA-PLAZA (Nr. 01.2.2-LMT-K-718-01-0047) ir dvišalį Lietuvos-Lenkijos projektą TERAGANWIRE (Nr. S-LL-19-1).

### Literatūra:

1. I. Kašalynas et al., Sensors 16(4), p.432 (2016).
2. S. Indrišiūnas, et al., Opt. Lett. 44(5), p.1210 (2019).
3. V. Jakštas et al., Lith. J. Phys. 54(4), p.227 (2014).
4. P. Sai, et al., Appl. Phys. Lett. 115(18), p.183501 (2019).
5. J. Jorudas et al., in 44th Conf. Proc IRMMW-THz. IEEE, (2019).
6. R. B. Adamov et al., Appl. Sci. 11(13), p.6053 (2021).
7. J. Jorudas, et al., Materials (Basel). 15(3), 1118 (2022).
8. V. Janonis et al., Appl. Phys. Lett. 116(11), p.112103 (2020).
9. D. Pashnev et al., Appl. Phys. Lett. 117(5), p.051105 (2020).
10. V. Janonis et al., SPIE 11499, p.1149909 (15 September 2020).
11. I. Grigelionis et al., Mater. Sci. Semicond. Process. 93, p.280 (2019).
12. J. Jorudas et al., Micromachines 11(12), p.1131 (2020).
13. D. Pashnev et al., Appl. Phys. Lett. 117(16), p.162101 (2020).
14. D. Pashnev, et al., IEEE Device Letters (under publication).
15. V. Janonis et al., Opt. Express 29(9), p.13839 (2021).