

Puslaidininkinės GaN struktūros teraherciniam ir infraraudonajam spektro ruožams

Semiconductor GaN structures for terahertz and infrared spectrum ranges

Justinas Jorudas¹, Vytautas Janonis¹, Daniil Pashnev¹, Roman Balagula¹, Ignas Grigelionis¹, Liudvikas Subačius¹,
Simonas Indrišiūnas¹, Irmantas Kašalynas¹

¹ Fizinis ir technologijos mokslų centras (FTMC), Saulėtekio al. 3, LT-10257 Vilnius
irmantas.kasalynas@ftmc.lt

Puslaidininkinių jutiklių ir spindulių kūrimas teraherciniame (THz) ir infraraudonajame (IR) spektro ruožuose susijęs su naujais THz bei IR taikymais [1,2]. Išskirtinės GaN medžiagos fizikinės savybės lėmė naujų puslaidininkinių technologijų atsiradimą 2014 m. Lietuvoje, FTMC [3] bei GaN struktūrų intensyvius tyrimus ir taikymus nuo THz iki IR spektro ruožo [4–6].

Šiame darbe ištyrėme derinamo dažnio emiterius, kuriuose panaudojami fizikiniai plazmonų ir fononų bei jų sąveikos ypatumai puslaidininkinėse GaN struktūrose [7–9]. Pasirinkus AlGaIn/GaN/SiC didelio elektronų judrio tranzistorinės (HEMT) struktūras su dvimatėmis elektronų dujomis (2DEG) ir optimizavus elektrinių kontaktų charakteristikas [10,11], ištyrėme dispersinius 2D plazmonų dėsnius bei elektronų efektinės masės priklausomybę temperatūrų ruože 77-300 K naudojant THz spektroskopiją su laikine skyra [8,12]. Nustatyti plazmonų rezonansiniai ypatumai pralaidumo amplitudės ir fazės spektruose, kur plazmono dažnį atitinka minimumo ir didžiausio gradiento taškai atitinkamuose spektruose (žr. 1 pav.), 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:

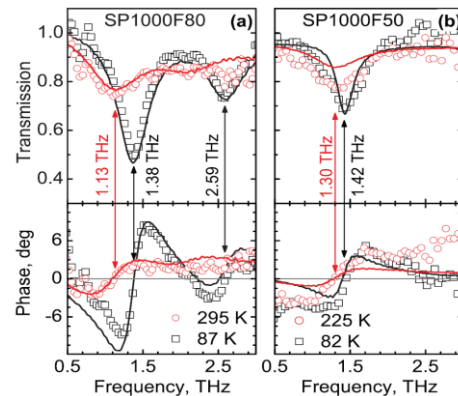
$$m^*(T)/m_0^* = 1 + 0.01 \left(T/T_c \right)^5, \quad (1)$$

čia $T_c = 134$ K parodo temperatūrą nuo kurios elektrono masė nuo nominalios $0.22 m_0$ vertės pradeda didėti netiesiškai, o temperatūroje $T = 295$ K yra apie $0.34 m_0$. Elektrono masės renormalizacija eksperimentiškai stebėta įvairiose AlGaIn/GaN HEMT struktūrose [6,12].

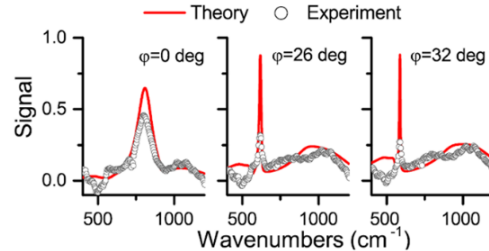
Galiausiai nustatėme paviršinių plazmonų-fononų poliaritonų (SPPHP) dispersijos dėsnius sekliese n -tipo GaN gardelėse. Išskirtinai SPPHP gali padidinti gardelės spinduliavimo efektyvumą labai siaurame spektro ruože skersinio optinio fonono aplinkoje net iki 100 % (žr. 2 pav.). Tas leidžia kurti IR ir THz ruožo šaltinius, kurie kaupinami elektriškai spinduliuoja normalės kryptimi pasirinkto dažnio šviesos pluoštelį su aukšta spektrine kokybe (kvazimonochromatinis) ir dideliu erdvinio koherentiškumu (maža skėstis) [13].

Verta pažymėti, kad sukurtuose emiteriuose darbinį dažnį galima keisti arba sklendės įtampa, prijungta prie ekranuotų 2DEG, arba paviršinės gardelės parametru 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 bus gerokai žemesnė, nei SPPHP pagrindu

pagamintų šaltinių. Tačiau, galimybė 2D plazmonų rezonansinį dažnį valdyti išorine įtampa išlieka patraukli įvairiems praktiniams taikymams [9].



1 pav. Pralaidumo amplitudžių ir fazių spektrai 2D plazmonams AlGaIn/GaN HEMT struktūroje temperatūrų ruože 80-295 K. Metalinės gardelės periodas ir užpildos skaičius – 1000 nm ir 80 % (a) bei 1000 nm ir 50 % (b), atitinkamai [12].



2 pav. Suskaičiuoti (linijos) ir išmatuoti (simboliai) emisijos spektrai seklies n -GaIn gardelės, kurio gylio, periodas ir užpildos skaičius yra 1 μ m, 11 μ m ir 50 %, atitinkamai [7].

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

Reikšminiai žodžiai: GaN, AlGaIn/GaN, dvimačiai elektronai, plazmonai, poliaritonai, THz ir IR emiteriai.

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, e 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. V. Janonis et al., Appl. Phys. Lett. 116(11), p.112103 (2020).
8. D. Pashnev et al., Appl. Phys. Lett. 117(5), p.051105 (2020).
9. V. Janonis et al., SPIE 11499, p.1149909 (15 September 2020).
10. I. Grigelionis et al., Mater. Sci. Semicond. Process. 93, p.280 (2019).
11. J. Jorudas et al., Micromachines 11(12), p.1131 (2020).
12. D. Pashnev et al., Appl. Phys. Lett. 117(16), p.162101 (2020).
13. V. Janonis et al., Opt. Express 29(9), p.13839 (2021).