

Kryptingas koherentinis šiluminis spinduliavimas iš tiesinių ir apskritų n-GaN gardelių

Directive coherent thermal emission from linear and circular n-GaN surface relief gratings

Vytautas Janonis¹, Algirdas Selskis¹, Pawel Prystawko², Irmantas Kašalynas¹

¹Fizinių ir technologijos mokslų centras, Saulėtekio al. 3, LT-10257, Vilnius

²Didelių slėgių fizikos institutas (Lenkijos mokslų akademija), Sokolowska 29/37,01-142, Varšuva, Lenkija

vytautas.janonis@ftmc.lt

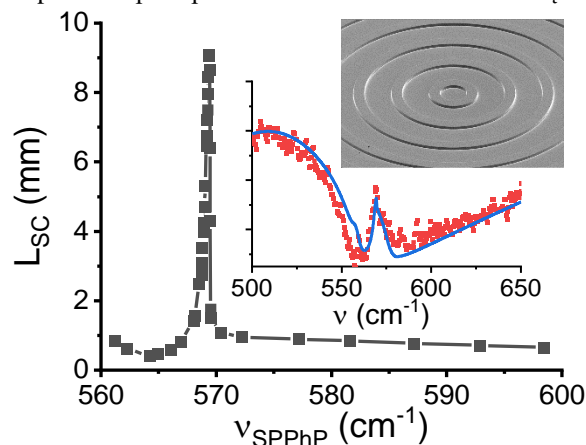
Terahercų (THz) ir infraraudonosios (IR) spinduliuotės ruožų spektroskopijos, jutiklių, energijos valdymo bei spinduliacinės temperatūros kontrolės taikymai skatina inovatyvių elektromagnetinės spinduliuotės charakteristikų valdymo metodų paiešką. Paviršinių plazmonų poliaritonų sužadimais paremti komponentai yra plačiai nagrinėjami ir taikomi spinduliuotės energijos bei kryptingumui valdyti regimame – ultravioletiniame spektuose. [1] Deja THz-IR ruožuose spinduliuotės energija yra mažesnė, rezonansinės linijos dėl palyginti didelio plazmonų slopinimo yra išplitusios, ir palyginamos su rezonansiniu dažniu, o tai stabdo aukštos kokybės optinių komponentų vystymą. Šiame spektriniame ruože pasiūlytas sprendimas – panaudoti hibridinius paviršinių plazmonų – fononų poliaritonus (PPFP), kuriuose platus plazmoninių poliaritonų spektrinis ruožas susiejamas su itin mažais fononinių svyravimų nuostoliais puslaidininkyje [2]. Rezultate hibridiniai PPFP iš seklios n-GaN gardelės generavo tiek laike tiek erdvėje koherentinį šiluminės spinduliuotės profilį, kurio didžiausias koherentiškumas turėtų būti pasiekiamas ties dažniu, atitinkančiu gardelės periodą $17.5 \mu\text{m}$ (571 cm^{-1}) [3].

Šiame darbe pristatomi hibridinių poliaritonų spinduliavimo charakteristikų rezultatai skirtingo formos ir užpildos, bet fiksuoto periodo ($P = 17.5 \mu\text{m}$) sekliose n-GaN gardelėse. Pagaminti bandiniai patvirtino didelio kryptingumo koherentinį PPFP spinduliavimą, kurį pavyko stebėti net be kolimuojančios optikos.

Sugerties, pralaidumo ir atspindžio spektrinės charakteristikos buvo modeliuojamos pasitelkiant tiksliosios susietųjų bangų analizės metodą (angl.: *Rigorous Coupled Wave Analysis*). Ištyrėme skirtingų užpildos faktorių ($0 < FF < 1$) seklių n-GaN gardelių spinduliuojamosios gebos spektrus bei jų kryptingumo charakteristikas. Kai $FF = 0.25$, spėtas mažas hibridinių PPFP svyravimų slopinimas leido pasiekti mažiausią rezonansinės linijos plotį siekiantį 1 cm^{-1} , bei didelį kryptingumą siekiantį 0.11 laipsnio. Nustatytas teorinis tiesinės gardelės erdvinis koherentiškumas siekė iki 9.5 mm (1 pav.). Gauti rezultatai leidžia tikėtis hibridinius PPFP panaudoti globaliai koherentinių šiluminių spinduliuotės šaltinių kūrimui [5].

Remiantis teorinės tyrimo dalies rezultatais ant vieno lusto pagamintos keturios gardelės, kurios skyrėsi forma (tiesinė, apskritiminė) ir užpilda ($0.25, 0.50, 0.75$). Šiluminis spinduliavimas iš kiekvienos gardelės buvo išmatuotas Furje spektrometru, bandinį kaitinant iki 500 C temperatūros. Gardelė su tiesinės formos grioveliais buvo panaudota poliaritoninių dispersijos charakteristikų tyrimui, kuris parodė PPFP rezonansines pirmos ir antros

eilės modas, kurių išmatuotos dispersinės charakteristikos gerai sutapo su skaičiavimo rezultatais. Kituose trijuose bandiniuose gardelę sudarė apskritiminės formos grioveliai (žr. 1 pav. intarpa.), kur užpildos faktorius buvo $0.25, 0.50$ arba 0.75 . Sužadinus hibridinius PPFP tokios formos gardelėje, šie spinduliuoja apskritimiškai poliarizuotą koherentinį pluoštą, kurį dėl didelio kryptingumo mums pirmą kartą pavyko išmatuoti tiesiogiai, nenaudojant papildomos surinkimo optikos. Išmatuotas vieno iš bandinių spektras kartu su modeliavimo rezultatu parodyti 1 pav. intarpe. Matomas geras sutapimas tarp eksperimento ir skaičiavimo rezultatų.



1 pav. Suskaičiuota dažninė, seklijoje n-GaN gardelėje sužadintų hibridinių PPFP, erdvinio koherentiškumo priklausomybė, kai gardelės $FF = 0.25$. Intarpuose pavaizduota eksperimentinės emisijos (taškai) bei suskaičiuoti spinduliuojamosios gebos (linija) spektrai; taip pat –pagamintos apskritos n-GaN gardelės su $FF = 0.25$ SEM centrinės dalies SEM nuotrauka.

Reikšminiai žodžiai: koherentinė šiluminė spinduliuotė, paviršiniai plazmonų – fononų poliaritonai.

Dėkojame už finansinę paramą Lietuvos mokslo tarybai, per projektą “T-HP” (Projekto nr: 01.2.2-LMT-K-718-03-0096).

Literatūra

- [1] Baranov, D.G. et al. Nat. Mater. 18, 920–930 (2019).
- [2] V. Janonis, S. Tumėnas, P. Prystawko, J. Kacperski, and I. Kašalynas, Appl. Phys. Lett. 116(11), 1–5 (2020).
- [3] V. Janonis, R. M. Balagula, I. Grigelionis, P. Prystawko, and I. Kašalynas, Opt. Express 29(9), 13839 (2021).
- [4] V. Janonis, J. Kacperski, A. Selskis, R.M. Balagula, P. Prystawko, and I. Kašalynas, Opt. Mater. Express 13, 2662-2673 (2023).
- [5] V. Janonis and I. Kašalynas, Patent application EP4105693A1, published 21 December 2022).