

Kaitinami metapaviršių emiteriai, skirti THz/sub-THz dažnių ruožui

Thermal metamaterial emitters for THz/sub-THz frequency range

Vladislovas Čizas¹, Ignas Grigelionis¹, Kęstutis Ikamas², Vytautas Jakštas¹, Domas Jokubauskis¹, Andrius Bičiūnas¹, Marius Treideris¹, Renata Butkutė¹ ir Linas Minkevičius¹

¹Fizinių ir technologijos mokslų centras, Optoelektronikos skyrius, Saulėtekio al. 3, 10257 Vilnius

²Vilniaus universitetas, Taikomosios elektrodinamikos ir telekomunikacijų institutas, Saulėtekio al. 3, 10257 Vilnius
vladislovas.cizas@ftmc.lt

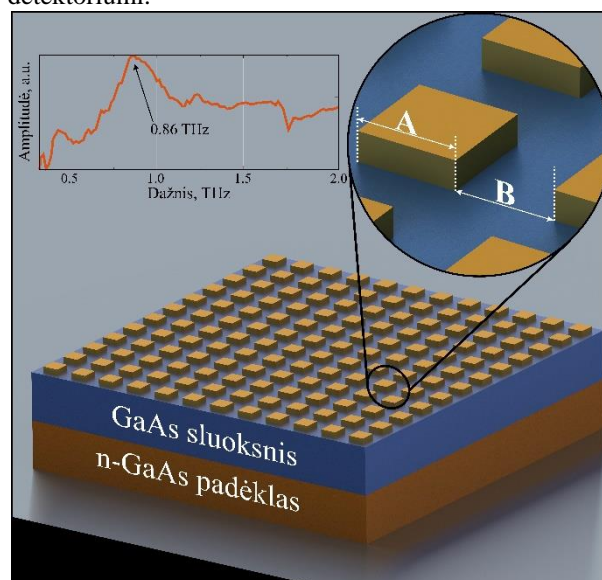
Šiuolaikiniame sparčiai vystomų technologijų pasaulyje atrandama vis daugiau sričių praktiniams terahercinio ir sub-terahercinio (0,1 THz – 10 THz) dažnių ruožo taikymams. Vaizdinimo pasiekimai skirtingiausiose srityse (pvz. apsaugos, farmacijos, žemės ūkio) skatina mažų, galingų, paprastų, kambario temperatūroje veikiančių spinduliuotės šaltinių poreikį [1, 2]. Šiuo metu didžiausias tyrimų kiekis THz dažnių ruožo šaltiniams kurti yra daugiausiai orientuotas į kvantinius kaskadinius lazerius (angl. Quantum Cascade Laser - QCL). Reikia pastebėti, kad QCL pasižymi sudėtinga struktūra, tai lemia aukštus gamybos kaštus. Be to tokie spinduliuotės šaltiniai reikalauja kriogeninio aušinimo bei yra sunkiai realizuojami sub-THz dažnių ruože. Metamedžiagos (ypač sub-THz dažnių intervale) pasižymi sąlyginai mažesnėmis galiomis, bet yra patrauklios dėl gerokai paprastesnių technologinių procesų bei garantuoto veikimo kambario temperatūros aplinkoje.

Šiame darbe pateikiami GaAs sub-THz/THz dažnių ruožo šiluminio šaltinio modeliavimo ir eksperimentiniai rezultatai. Tokiu įtaisų veikimas paremtas šiluminės spinduliuotės, sugeneruotos dielektriko sluoksnyje, rezonansu tarp dviejų laidžių sluoksnių. Šis efektas generuoja tam tikro dažnio spinduliuotę indukuojant paviršinius plazmoninius poliaritonus (angl. Surface Plasmon Polariton – SPP) [3, 4].

Nepriklausomai nuo spinduliuojamo dažnio, šiluminio metamedžiagos spinduliuotės šaltinio galia yra susieta su visiškai juodo kūno spinduliuotės spektru. Kadangi sub-THz dažnių ruože juodo kūno spinduliuotės intensyvumas yra žemas, ypatingai svarbu yra gerai optimizuotas struktūros ir metapaviršiaus dizaino pasirinkimas. Optimizavimas atliktas skaitmeniškai, naudojant trimatį baigtinių skirtumų laiko srityje (angl. 3D FDTD) metodą. Siekiant gero suderinamumo su laboratorijoje vystomais puslaidininkiniais įtaisais, realizuojamais GaAs platformai, nuspręsta naudoti Au/GaAs/n-GaAs daugiasluoksnių struktūrą, vietoje įprasto SiO₂ tarpiklio naudojant GaAs [5].

Pirmieji eksperimentai, buvo atliekami pasirinkus paprasčiausią kvadrato formos narvelį. Metapaviršiaus sluoksnis buvo paruoštas garinant auksą elektronų pluoštų metodu, o narveliai suformuoti naudojant lazerinę UV litografiją, leidžiančią pasiekti ~1 μm skyrą. Pagrindiniai sluoksnio parametrai: periodas ir užpilda, buvo keičiami optimizuojant struktūrą kiekvienam pasirinktam dažniui, atsižvelgiant į teorinio modeliavimo metu gautus rezultatus.

Šaltinių spinduliavimo spektras tirtas THz Maikelsono interferometru. Eksperimentui paruoštos 4 skirtingos struktūros, veikiančios 0,8 – 1,5 THz dažnių ruože. Bandiniai buvo šildyti iki 400°C naudojant specialios konstrukcijos bandinio laikiklį, užtikrinantį kokybišką šilumos perdavimą, ir stabilią temperatūrą. Siekiant išvengti konstrukcijos parazitinio šiluminio spinduliavimo, struktūra buvo patalpinta į nespinduliuojančią dėžutę su 4 mm kūgine apertūra. Siekiant nuslopinti nereikalingas aukštesnio dažnio modas į eksperimentinę liniją papildomai įterptas aukštadažnis (4 THz) filtras. Signalas registruotas Golay detektoriumi.



1 pav. Eksperimente naudotų struktūrų schema ir vienos iš struktūrų emisijos spektras (intarpe).

Šiame darbe sukurti veikiantys įtaisai bei geras eksperimentinių rezultatų atitikimas teoriniam modeliavimui leidžia tikėtis sėkmingo efektyvesniu šiluminių šaltinių sukūrimo. Kitos prietaisų dizaino iteracijos ateityje leis padidinti spinduliuotės galią bei pagerinti spektrines šaltinio charakteristikas.

Reikšminiai žodžiai: metamedžiaga, THz spinduliuotė, FDTD, GaAs, THz šaltinis

Literatūra

- [1] G. Valušis et. al., *Sensors*, **21**, 4092 (2021).
- [2] R. Xu and Y. Lin, *Nanomaterials*, **10**, 1442 (2020).
- [3] M. Tsai et. al., *Appl. Phys. Lett.* **89**, 173116 (2006).
- [4] C. Chen et. al. *Appl. Phys. Lett.* **91**, 243111 (2007).
- [5] F. Alves et. al., *Optics Express* **19**, 21025-21032 (2012).