

Paviršinių bangų pritaikymas erdviniam filtravimui pasitelkus plonasluoksnius bangolaidžiais

Surface band edge modes of periodic waveguides for spatial filtering

Ignas Lukošius^{1,*}, Darius Gailevičius¹, Kęstutis Staliūnas^{1,2,3}

¹Vilniaus universitetas, fizikos fakultetas, lazerinių tyrimų centras, Saulėtekio al. 10, LT-10223, Vilnius

²ICREA, Passeig Lluís Companys 23, 08010, Barcelona, Spain

³UPC, Rambla Sant Nebridi 22, 08222, Terrassa (Barcelona), Spain

*ignas.lukosiunas@ff.vu.lt

Vienas iš svarbių mechanizmų lazerinių pluoštų erdvinę kokybę patobulinti yra erdvinio filtravimo pritaikymas lazerinėse rezonatorių sistemose. Įprastuose lazeriniuose įtaisuose naudojama konfokalinė lęšių sistema su diafragma, kurią tinkamai suderinus realizuojamas filtravimas. Tačiau toks mechanizmas nėra tinkamas mikrolazerių sistemose dėl savo nekompatiško, todėl šią problemą siekiama spręsti pasitelkus nanofotonikos įtaisais – fotoniniais kristalais.

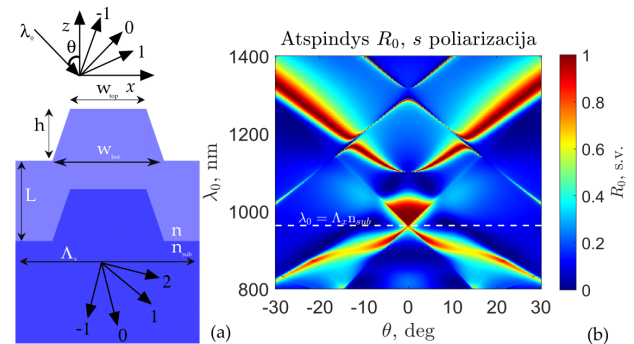
Fotoniniai kristalai yra periodinės mikrostruktūros, pasižyminčios unikalia savybe kontroliuoti poliarizuotos šviesos charakteristikas. Kaip ir joninė gardelė, kuri pasižymi atrankia dispersija - esti draudžiami energijos juostų tarpai ir elektronai su energija, kuri patenka į šiuos tarpus, negali egzistuoti gardelėje bei turi būti atspindėti. Analogiškai fotoniniai kristalai pasižymi draudžiamais fotonų energijų juostų tarpais, kuriuose atitinkantys šviesos kvantai negali skliti fotoniniame kristale, taip pasižymintys aukšta atspindžio tikimybe nuo moduluotos fotonines struktūros. Šią juostą galima valdyti keičiant kristalo geometrinius parametrus bei jose esančias medžiagas, t.y., lužio rodiklio skirstinį.

Siekiant išspręsti erdvinio filtravimo užduotį, reikia sukurti fotoninių kristalų dizainus sprendžiant Maksvelio lygtis modeliuojant pralaidumo/ atspindžio kampinius spektrus skirtingoms difrakcijos eilėms. Dėl paprastumo bei didelio kompiuterinio skaičiavimo greičio naudojamosi RCWA (Rigorous Coupled Wave Analysis) programa su sklaidos matricos implementacija [1].

Šiame darbe nagrinėjama trapecinės formos, skersiniu periodiškumu pasižyminti gardelė, kuri sudaryta iš vienos L storio dangos. Gardelės profilio schema nurodyta 1 pav. (a). Ją žadinant plokščia monochromatine banga galima stebėti aibę reiškinų, kurias galima valdyti keičiant gardelės geometrinius parametrus. Aštrūs atspindžių skirstiniai, kurie siekia 100 %, yra identifikuoti kaip Fano rezonansai. Atlikta skaitmeninė analizė parodo [2], kad, pasireiškus šiems rezonansams, atspindima dalis kritusios spinduliuotės siaurame spektro ruože ir labai mažame kampiniame intervale. Likusioji spinduliuotės dalis yra praleidžiama nulines eilės difrakcijos eilėje. Tai yra tokie rezonansai, kuomet laukas, lygiagretus gardelės dryžiams, skersai sklinda dangos viduje. Kita vertus, kitos rūšies reiškinys, kuomet laukas lygiagretus gardelės dryžiams, nors yra atspindimas nuo gardelės atgal į orą, yra lokalizuotas substrate. Tokias lauko modas galima vadinti paviršinėmis. Viena svarbių savybių yra ta, kad

atspindžio kampinis spektras turi kontinuumą. Tai turi ypatingą svarbą erdviniam filtravimui lazerinių diodų sistemose, kuomet dėl fabrikavimo netobulumų centrinis spinduliuojamas bangos ilgis lazerinėje diodinėje sistemoje yra išderinamas spektre.

Šiame darbe yra nustatyta, jog atspindžio kontinuumas nusako ribą tarp aukštesnės ($m = \pm 1$) eilės difrakcijos maksimumų. Taipogi atrasta, jog atspindžio kontinuumo pozicija priklauso nuo $\Lambda_x n_{sub}$ bangos ilgio tiesiškai, kas užtikrina labai patogų dizaino kūrimą. Tarp kitko keičiant uždėto sluoksnio storį galima generuoti aštrius Fano rezonansus nuo šio pagrindinio bangos ilgio.



1 pav. Trapecinės gardelės elementarusis narvelis (a) bei nulines eilės kampinis atspindžio spektras (b) geometriniais parametrams $h = 230$ nm, $L = 580$ nm, $w_{top} = 300$ nm, $w_{bot} = 375$ nm, $\Lambda_x = 640$ nm, lužio rodikliams $n = 2.2$, $n_{sub} = 1.5$.

Reikšminiai žodžiai: erdvinis filtravimas, fotoninis kristalas, bangolaidis, paviršinės bangos.

Literatūra

- [1] Raymond C. Rumpf, "Improved Formulation of Scattering Matrices for Semi-Analytical Methods That Is Consistent with Convention," Progress In Electromagnetics Research B, Vol. 35, 241-261, 2011.
- [2] L. Grineviciute, J. Nikitina, C. Babayigit, K. Staliunas, Applied Physics Letters 118, 131114, 2021