

# GaN antros eilės netiesinių optinių bangolaidžių formavimas ir tyrimas

## Formation and investigation of GaN second-order non-linear optical waveguides

Roland Tomašiūnas<sup>1</sup>, Marek Kolenda<sup>1</sup>, Darius Kezys<sup>3</sup>, Arūnas Kadys<sup>1</sup>, Tomas Grinys<sup>1</sup>, Virgilijus Vaičaitis<sup>2</sup>, Ignas Reklaitis<sup>1</sup>, Raimondas Petruškevičius<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>Fotonikos ir nanotechnologijų institutas, Fizikos fakultetas, Saulėtekio 3, LT-10257 Vilnius

<sup>2</sup>Lazerinių tyrimų centras, Fizikos fakultetas, Saulėtekio 10, LT-10223 Vilnius

<sup>3</sup>Fizinių ir technologijos mokslų centras, Savanorių pr. 231, 02300 Vilnius

[rolandas.tomasius@ff.vu.lt](mailto:rolandas.tomasius@ff.vu.lt)

Koherentinių šviesos šaltinių tobulinime ir taikyme svarbų vaidmenį vaidina spektrinių savybių lankstumas. Vienas iš lankstumo požymių – greitas ir patogus šviesos bangos ilgio keitimas. Keisti bangos ilgį galima optiniais parametriniais generatoriais, tačiau daug efektyviau tai atlikti optinių dažnių generatoriais. Tiesa, pastaruju atveju bangos ilgis keičiamas šuoliškai.

Integruotose optinėse grandinėse šviesos šaltiniai miniatiūrizuoti, jiems taikomos specifinės sąlygos. Bangolaidžių, kaip, šviesos šaltinių integracija šiose grandinėse žymiai pagerintų suderinamumą ir kompaktškumą.

GaN koherentiniai šviesos šaltiniai (lazeriai), ar GaN bangolaidžiai nėra naujiena. Tačiau naujų konfigūracijų GaN bangolaidžių struktūrų, galinčių efektyviai konvertuoti optinius dažnius, paieškos tęsiasi ir čia tikimasi daug naujumo, taip pat ir taikymo. Šiuo metu dominuoja dviejų tipų antros harmonikos bangolaidinės struktūros pasižyminčios kvazi-faziniu sinchronizmu (angl. quasi-phase matching (QPM), [1]) ir modaliniu sinchronizmu (angl. modal phase matching (MPM), [2]). Abiem atvejais struktūros suformuotos taip, kad būtų kompensuojamas dviejų sąveikaujančių bangų, žadinančios ir antros harmonikos, fazės išsiderinimas, atsirandantis dėl skirtingo lūžio rodiklio.

Teorinę įžvalgą, technologinius bei eksperimentinius tyrimus atlikome su QPM ir MPM GaN struktūromis. GaN turi pakankamai gerą antros eilės netiesinį optinį jautrį (~10pm/V), tačiau nepakankamą dvejojo lūžio savybę, kad užtikrinti efektyvią antros harmonikos generaciją. Poliškumu pasižymintis GaN leidžia suformuoti struktūrą su periodiškai besikeičiančiu poliškumu ir taip kompensuoti fazės išsiderinimą (QPM). Metalorganinės sluoksnių nusodinimo iš garų fazės (angl. MOCVD) technologija buvo užaugintas 1280 nm storio bangolaidinis GaN sluoksnis ir jame suformuotais periodiškai besikeičiantis Ga- ir N-poliškumo sritimis (4 mm periodas). Gauta antros harmonikos generacija žaliajo spektro srityje 500-550 nm atitiko planuoto Nd:YAG lazerio bangos ilgį. Išplitęs spektras buvo paaiškintas teorinio modeliavimo rezultatais (2D modų analizė (TMM metodas) ir 2D pluošto sklaidimo metodas). Įskaičius šviesos modų sklaidimą bangolaidyje, gautos mažu kampu besikertančios dispersinės kreivės su tęstiniu kirtimosi tašku (TM<sub>2λ</sub> ir TM<sub>0λ/2</sub>, N=3 modų sutapimas), atitiko eksperimento rezultata.

MPM eksperimentams auginome kompleksinę N-poliškumo GaN/ALD-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Ga-poliškumo GaN struktūrą. Ši struktūra pasižymi modų sąveikos kompensuotu kvazi-faziniu sinchronizmu (angl. compested QPM (C-QPM)) dviejuose stipriai sąveikaujančiuose planariniuose GaN bangolaidžiuose (optimizuotas sanklotos integralas). Išilgai bangolaidžio besitęsianti GaN poliškumo inversija, turėtų demonstruoti daug didesnę SHG efektyvumą nei darinys be poliškumo inversijos.

Poliškumo inversiją pavyko suformuoti ir nauju “bonding“ metodu. Tai metodas, kai priešprieša mechanškai/chemiškai sukabinami dviejų vienodo poliškumo GaN bandinių paviršiai. Šis metodas leidžia sumažinti technologinių operacijų kiekį ir taupyti resursus, nes nebereikia auginti vienas ant kito skirtingo poliškumo GaN sluoksnių.

Eksperimentai buvo atlikti bandinius žadinant iš krašto (angl. end-fire) konfigūracijoje. Žadinimui buvo naudojamas femtosekundinis (40 fs) lazeris.

Darbas finansuotas projekto SMART 01.2.2.-LMT-K-718 lėšomis.

*Reikšminiai žodžiai:* GaN bangolaidžiai, antros harmonikos generacija, kvazifazinis sinchronizmas, modalinis sinchronizmas.

### Literatūra

- [1] A. Chowdhury, *et al.*, Appl. Phys. Lett. **83**, 1077 (2003).
- [2] M. Gromovy, *et al.*, Opt. Express **25**, 23035 (2017).