

# Krūvininkus lokalizuojančio potencialo InGaN kvantinių duobių dariniuose modifikavimas

## Variation of localizing potential in InGaN QW structures

Jūras Mickevičius, Darius Dobrovolskas, Marek Kolenda, Mantas Dmukauskas, Tomas Grinys, Arūnas Kadys, Tadas Malinauskas, Kazimieras Nomeika, Ramūnas Aleksiejūnas, Gintautas Tamulaitis  
Vilniaus universitetas, Taikomųjų mokslų institutas ir Puslaidininkių fizikos katedra, Saulėtekio al. 3, LT-10257 Vilnius  
[juras.mickevicius@ff.vu.lt](mailto:juras.mickevicius@ff.vu.lt)

Krūvininkų lokalizacija potencialo fliktuacijoje yra viena pagrindinių priežasčių, dėl kurių sumažėja nespindulinės rekombinacijos tikimybė InGaN, o šio puslaidininkio epitaksiniai sluoksniai ir heterodariniai yra plačiai naudojami gaminant optoelektroninius prietaisus, veikiančius regimojoje spektro srityje. Nepaisant sėkmingai išplėtotų nitridinių puslaidininkių auginimo technologijų, kokybiškų InGaN sluoksnių auginimas vis dar yra rimtas technologinis iššūkis, ypač tada, kai siekiama išauginti InGaN su dideliu In kiekiu, kad junginio emisijos spektras pasislinktų į žalią spektro dalį. Potencialo fliktuacijos, atsiradusios dėl sudėties, sluoksnių storio bei įtempimų erdvinio netolygumo, apsaugo krūvininkus nuo patekimo į nespindulinės rekombinacijos centrus bei leidžia pasiekti aukštą vidinį kvantinį našumą, tačiau didėjant potencialo fliktuacijų energiniam pasikirstymui, plėtėja liuminescencijos spektras, išauga priverstinės spinduliuotės slenkstis.

Šiuo metu yra du pagrindiniai keliai, siekiant pagerinti InGaN medžiagų kokybę - i) sofistikuoatų auginimo metodų bei technologinių parametru tobulinimas, ir ii) kvantinio darinio sandaros tobulinimas, naudojant papildomus tarp sluoksnius. Šiame tyrime mes naudojame abu kelius - impulsinį InGaN sluoksnių aktyviojoje srityje auginimą MOCVD būdu ir mažo periodo InGaN/GaN supergardelės įterpimą siekiant sumažinti įtempimus aktyviojoje srityje. Šiame darbe mes parodome, kokią įtaką abu šie keliai daro krūvininkus lokalizuojančiam potencialui.

InGaN/GaN dariniai buvo užauginti ant GaN/safyro ruošinių MOCVD būdu. Dalyje bandinių, prieš auginant aktyviąją sritį, buvo užauginta mažo periodo InGaN/GaN supergardelė. InGaN sluoksniai aktyviojoje srityje buvo auginami impulsiniu būdu, kuomet indžio ir galio metalorganiniai prekursoriai yra leidžiami į reaktorių impulsais. Siekiant išsiaiškinti technologinių parametru įtaką, buvo atlikti auginimai keičiant pauzės tarp metalorganinių impulsu trukmę ir supergardelės bei aktyviosios srities auginimo temperatūras.

Užaugintu sluoksnių struktūrinė kokybė vertinta pasitelkus Rentgeno spindulių difrakciją bei matavimus peršviečiančiuoju elektroniniu mikroskopu. Paviršiaus morfologija tirta atominės jėgos mikroskopu. Liuminescencijos ypatumai buvo tiriami makroskopiniame ir mikroskopiniame mastelyje, naudojant tiek įprastinę liuminescencinę spektroskopiją, tiek konfokalinę mikroskopiją. Krūvininkų dinamika tirta žadinimo-zondavimo bei dinaminu gardeliu metodikomis.

Struktūriniai tyrimai atskleidė, kad tiek keičiant pauzės trukmę, tiek auginimo temperatūras, indžio kiekis InGaN junginyje praktiškai nesikeičia. Tuo tarpu, kvantinės duobės plotis didėja mažinant auginimo temperatūras, tačiau pauzės trukmė jam įtakos nedaro.

Liuminescencijos tyrimai atskleidė stiprią lokalizuojančio potencialo priklausomybę tiek nuo pauzės tarp metalorganinių impulsu, tiek ir nuo auginimo temperatūru. Keičiant pauzės trukmę, liuminescencijos juosta stipriai nesislenka, tačiau lokalizuojantis potencialas transformuojasi - pasikeičia lokalizuotu būsenų prigimtis iš sąlygotu sudėties fliktuacijų į sąlygotas duobės storio fliktuacijų. Ši transformacija lemia ir stiprų liuminescencijos intensyvumo erdvinio nehomogeniškumo didėjimą. Keičiant auginimo temperatūras, buvo pastebėtas stiprus liuminescencijos juostos raudonasis poslinkis, vėlgi palydimas lokalizuojančio potencialo transformacijos. Dariniuose, šviečiančiuose mėlynoje spektrinėje srityje, optinės savybės yra nulemtos mažo erdvinio mastelio fliktuacijų, tuo tarpu, didelio mastelio fliktuacijos sąlygoja krūvininku susikaupimą 250 nm diametro srityse. Dariniuose, šviečiančiuose oranžinėje spektrinėje srityje, išauga didelio mastelio fliktuacijų įtaka, o padidėjęs nespindulinės rekombinacijos centru tankis srityse su didesniu indžio kiekiu lemia mažesnį kvantinį našumą.

Praktiniu požiūriu svarbu tai, kad darbe parodyta, jog panaudojant impulsinį auginimo metodą bei tinkamai parinkus auginimo temperatūras InGaN epitaksiniu sluoksniu liuminescencijos juosta įmanoma pastumti į žalią ir dar ilgabangiškesnę spektro dalį, tačiau šį poslinkį lemia ne didesnis indžio kiekis, o išplatėjęs lokalizuotu būsenų tankio ilgabangis šlaitas.

*Reikšminiai žodžiai: InGaN, MOCVD technologija, kvantinės duobės, fotoluminescencija, krūvininku lokalizacija*