

# Nepusiausvirųjų krūvininkų pernašos tyrimas InGaN sluoksniuose su skirtinga In koncentracija

## Investigation of Non-Equilibrium Charge Carrier Transport in InGaN Layers Having Different In Content

Lukas Šiaulys

Vilniaus universitetas, Fizikos fakultetas, Saulėtekio al. 9, 10222 Vilnius  
[lukas.siaulys@ff.stud.vu.lt](mailto:lukas.siaulys@ff.stud.vu.lt)

Pagrindinis šio darbo tikslas – ištirti nepusiausvirųjų krūvininkų difuzijos koeficiento ir gyvavimo trukmių priklausomybes nuo skirtingo krūvininkų tankio InGaN sluoksniuose, turinčiuose skirtingą In koncentraciją. Šiam tikslui įgyvendinti buvo pasitelkta šviesa indukuotų dinaminų gardelių (LITG) metodika. Ši metodika yra unikali, nes difuzijos koeficientą ir gyvavimo trukmes galima nustatyti tuo pačiu metu. Taip pat, tai fizinio kontakto su bandiniu nereikalaujantis, nedestruktyvus krūvininkų dinamikos tyrimo metodas.

Dėl itin patrauklių nitridinių puslaidininkų savybių, tokių kaip didelis krūvininkų judris, aukštos pramušimo įtampos, plačios draudžiamosios juostos, jie turi potencialą aukštos galios ir greitos elektronikos, saulės baterijų pritaikymuose. Taip pat, aukštas vidinis kvantinis našumas (nepaisant didelio defektų tankio), tiesiatarpė draustinė juosta leidžia nitridinių puslaidininkų pritaikymą LED apšvietimui bei ekranams, lazeriniams diodams. Trinaris InGaN puslaidininkis – ne išimtis. Varijuojant In kiekį šiame puslaidininkyje, galimas sugerties ir spinduliavimo diapazonas, apimantis sritį nuo UV iki gintarinės šviesos. Visgi, žinoma, jog InGaN prietaisų efektyvumas mažėja prie didesnių bangos ilgių (didinant In kiekį medžiagoje). Ši problema dar žinoma kaip žaliojo tarpo (angl. *green gap*). Tai neleidžia sukurti pilnavertiško RGB LED ekrano, nes žaliai šviesai išgauti naudojama efektyvumą mažinanti fosforinė konversija. Kita problema, susijusi tiek su InGaN, tiek su kitais nitridų šeimos puslaidininkiais, yra kvantinio našumo mažėjimas prie didelio laisvųjų krūvininkų tankio (angl. *efficiency droop*). Tai riboja nitridinių puslaidininkų LED panaudojimą dideliems šviesos srautams.

Suprasti dėl ko kyla šios problemos yra būtini laisvųjų krūvininkų dinamikos tyrimai InGaN sluoksniuose. Šiame darbe tiriami 7 skirtingos In koncentracijos InGaN sluoksniai ir vienas atraminis GaN sluoksniu LITG metodu. Pastebėta, jog ties mažesniais krūvininkų tankiais InGaN sluoksniuose išsaugoma difuzijos koeficiento vertė, kas nėra pastebima GaN. Šis reiškinys aiškinamas per perkoliacinių kelių susidarymą netvarkiuose sluoksniuose. Tačiau toliau didinant krūvininkų tankį, didėja kuloninė krūvininkų sąveika ir difuzija ima mažėti. Taip pat pastebimas difuzijos išsaugimas ties didžiausiais krūvininkų tankiais tiek GaN, tiek InGaN. GaN atveju tai lemia puslaidininkio išsigimimas, o InGaN tai gali būti sudėtinis puslaidininkio išsigimimo ir krūvininkų delokalizacijos procesas aukštuose sužadiniuose, dėl ko išsaugoma

krūvininkų judris. Difuzijos priklausomybė nuo In turi mažėjančią tendenciją ties didžiausiais In kiekiais, kas galėtų būti dėl fazių atsiskyrimo per kurį atsiranda sritys su didesniu ir mažesniu In kiekiu.

Gyvavimo trukmės InGaN sluoksniuose bendru atveju mažėja, didėjant In kiekiui. Tai gali būti paaiškinama didesniu defektų tankiu didesniems In kiekiams. Gyvavimo trukmių mažėjimas didinant nepusiausvirųjų krūvininkų tankį aiškinamas per krūvininkų delokalizaciją, kas lemia išsaugusią krūvininkų difuziją į defektus. Tuo tarpu šis mažėjimas ne toks agresyvus tvarkiamame GaN sluoksnyje, galimai dėl mažesnio defektų tankio GaN sluoksniuose.

Taip pat apskaičiuotas krūvininkų difuzijos ilgis visiems bandiniams. InGaN bandiniuose difuzijos ilgis mažėja su krūvininkų tankiu, kas, vėlgi, aiškinama per išsaugusią delokalizaciją, kuri lemia didesnę krūvininkų pernašą į defektus. Tačiau GaN sluoksnyje stebimas difuzijos ilgio didėjimas. Taip yra dėl to, kad GaN gyvavimo trukmės krenta ne taip drastiškai, kaip InGaN sluoksniuose ir difuzijos ilgis labiau nusakomas difuzijos koeficiento augimo nei gyvavimo trukmių mažėjimu.

*Reikšminiai žodžiai: InGaN sluoksniai, GaN sluoksniai, nepusiausvirųjų krūvininkų dinamika, difuzija, gyvavimo trukmės, šviesa indukuotos dinaminės gardelės.*