

Krūvininkų difuzijos įtaka InGaN darinių kvantiniam našumui

Impact of carrier diffusion to internal quantum efficiency of InGaN quantum well structures

Ramūnas Aleksiejūnas, Kazimieras Nomeika, Žydrūnas Podlipskas, Saulius Nargelas, Gintautas Tamulaitis
Vilniaus universitetas, Fizikos fakultetas, Saulėtekio al. 3, LT-10257 Vilnius
ramunas.aleksiejunas@ff.vu.lt

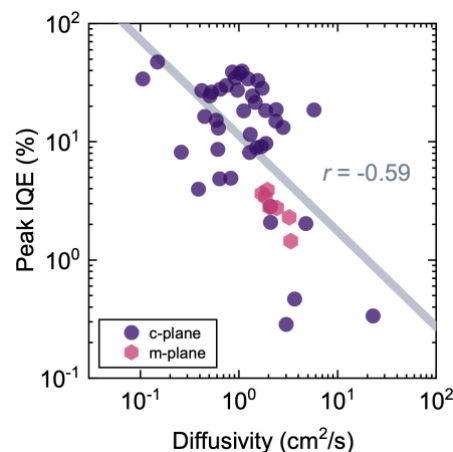
Vidinis kvantinis našumas (*Internal Quantum Efficiency*, IQE) yra apibrėžiamas kaip santykis tarp spindulinės ir suminės rekombinacijos spartų. Šiuolaikinių InGaN mėlynų šviestukų IQE viršija 90%. Deja, našumas sparčiai krenta tiek didinant indžio kiekį, tiek didinant krūvininkų tankiui, o tai rimtai riboja dalį nitridinių šviestukų taikymų [1]. Šios dvi problemos yra seniai žinomos ir tiriamos, tačiau galutinių atsakymų vis dar nėra. Tai parodo, kad procesai, lemiantys našumą InGaN dariniuose, yra sudėtingi, galimai dėl tokio tipo lydiniuose neišvengiamos netvarkos ir jos įtakos krūvininkų pernašai ir rekombinacijai [2].

Šiame pranešime pristatome mūsų naujausius tyrimus, kurie parodo, kad maksimalią IQE vertę InGaN kvantiniuose dariniuose riboja tiek netiesioginė Auger rekombinacija per defektus, tiek ir krūvininkų difuzija. Siekdami išskirti universalius IQE lemiančius veiksnius, tyrėme 57 tarpusavyje nesusijusių darinius, skirtingų augintojų užaugintus MOCVD būdu per paskutinius 15 metų, turinčius nevienodą indžio kiekį, kvantinių šulinių ir barjerų storį, projektuotus skirtingiems tikslams ir pan. 7 bandiniai buvo suformuoti homoepitaksiškai ant *m* GaN plokštumos – pagal rezultatus šiuose bandiniuose įvertinome spontaninio elektrinio lauko ir dislokacijų įtaką rezultatams. Tyrimams naudojome skirtuminio pralaidumo, šviesa indukuotų difrakcinių gardelių ir laikinės skyros katodoluminescencijos metodikas. IQE bandiniuose įvertinome dviem nepriklausomais būdais: tiesiogiai matuodami integruojančia sfera arba skaičiuodami iš skirtuminio pralaidumo irimo spartos priklausomybės nuo sužadintų krūvininkų tankio.

Pastebėjome, kad skirtingais būdais išmatuotų IQE priklausomybės nuo krūvininkų tankio nesutampa, o skirtumas yra ryškesnis bandiniuose su mažesnėmis absoliutinėmis našumo vertėmis. Šis nuokrypis parodo, kad InGaN dariniuose vyksta nespindulinis procesas, kurio sparta tiesiškai auga nuo krūvininkų tankio. Kita vertus, ši sparta tiesiškai koreliuoja su Shockley-Read-Hall, SRH, rekombinacijos sparta. Tokias savybes turi Auger rekombinacija per taškinis defektus (*trap-assisted Auger recombination*, TAAR). Panašius procesus anksčiau esame stebėję AlGaIn sluoksniuose [3], o neseniai TAAR buvo patvirtinta ir žemos kokybės MBE dariniuose [4]. Šio tyrimo rezultatai leidžia teigti, kad TAAR yra pagrindinis veiksnys ribojantis našumą „bloguose“ bandiniuose su IQE < 10%. Kita vertus, bandiniuose su IQE > 20% našumą riboja tiesioginė Auger rekombinacija. Įdomu pastebėti, kad anksčiau nepastebėtas TAAR procesas galėjo būti priežastimi ilgai vykusio ginčo dėl efektyvumo kryčio (*efficiency droop*)

prigimties – skirtingos kokybės bandinius tiriančios grupės galėjo prieiti skirtingų išvadų.

Kita vertus, šiame pranešime parodome, kad tiek SRH, tiek TAAR sparta tiesiškai koreliuoja su skylių difuzijos koeficientu, o tai reiškia, kad IQE krenta bandiniuose su efektyvesne krūvininkų pernaša. Svarbu pažymėti, kad ta pati tendencija yra matoma tiek poliniuose, tiek ir nepoliniuose bandiniuose, o tai leidžia atmesti spontaninio elektrinio lauko poveikį. Pateikiami rezultatai leidžia teigti, kad krūvininkų migracija link taškinų defektų sancaupų vaidina svarbų vaidmenį ribojant maksimalų InGaN našumą.



1 pav. Vidinio kvantinio našumo priklausomybė nuo difuzijos koeficiento

Reikšminiai žodžiai: InGaN, vidinis kvantinis našumas, krūvininkų difuzija, krūvininkų rekombinacija.

Literatūra

- [1] C. Weisbuch, ECS J. Solid State Sci. Technol. 9, 016022 (2019).
- [2] S. Chichibu, T. Azuhata, T. Sota, and S. Nakamura, Appl. Phys. Lett. 69, 4188 (1996).
- [3] Ž. Podlipskas et al., Journal of Physics D: Applied Physics, 49, 145110 (2016).
- [4] D.J. Myers et al., Appl. Phys. Lett. 116, 091102 (2020).