

Nuotėkio srovės tyrimas InGaN šviestuke dalyvaujant fononams

Research of phonon-assisted leakage current of InGaN light emitting diode

Tomas Grinys¹, Kristupas Karčemarskas¹, Kristupas Razas¹, Virginijus Bukauskas²

¹Fotonikos ir nanotechnologijų institutas, Fizikos fakultetas, Vilniaus universitetas, Saulėtekio al. 3, LT-10257, Vilnius

²Fizinių ir technologijos mokslų centras, Saulėtekio al. 3, LT-10257, Vilnius

tomas.grinys@tmi.vu.lt

Dauguma galio nitrido GaN epitaksinių struktūrų, taikomų šiuolaikiniams optoelektroniniams prietaisams, yra auginami ant pagrindų, tokių kaip safyras, silicis ar SiC. Šių pagrindų terminio plėtimosi koeficientas bei kristalinė gardelė nėra suderinti su formuojamu GaN sluoksniu, todėl kristalo viduje susidaro tūriniai defektai. Tūriniai defektai, tokie kaip sraigtinės dislokacijos gali skliti išilgai sluoksnio, sukurdami lokalizuotas krūvininkų būsenas. Manoma, kad šie defektai yra atsakingi už nuotėkio srovę p-n sandūros erdvinio krūvio srityje. Tyrimai rodo, kad krūvininkų transportavimo mechanizme dominuoja tuneliavimas per galias defektų būsenas draustinėje juostoje. Nuotėkio srovės mechanizmui analizuoti gali būti taikomi tiek atgalinės, tiek tiesioginės voltamperinės charakteristikos priklausomybės nuo temperatūros matavimai. P. Pipinio ir kt. [1] darbe pristatytas tuneliavimo modelis, kuriame yra įskaityta krūvininkų sąveika su fononais. Šio modelio skaičiavimai gana neblogai sutapo su galio nitrido Šotkio diodo struktūros atgalinėmis voltamperinėmis charakteristikomis plačiame temperatūrų diapazone.

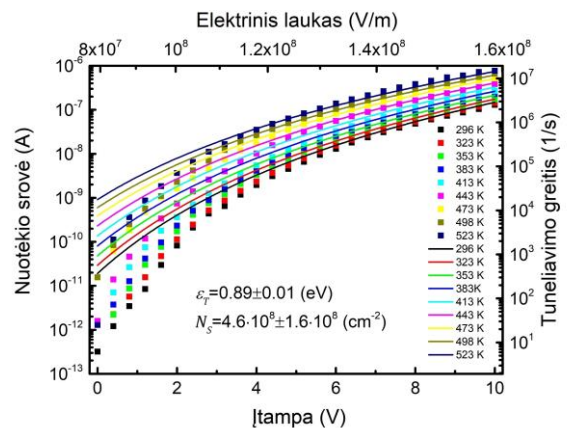
Savo darbe mes pritaikėme tuneliavimo modelį sudėtingesnei šviestuko struktūrai. Pirmiausia mes atlikome Holo matavimus ir nustatėme atskirų GaN sluoksnių, legiruočių n-tipo bei p-tipo priemaišomis, krūvininkų koncentraciją. Šie sluoksniai buvo naudojami kalibravimui cheminio nusodinimo iš metalo-organikos garų fazės metodu auginant visą šviestuko struktūrą. Vėliau mes atlikome voltafaradinės charakteristikos matavimus, siekdami nustatyti auginimo metu injektuotų priemaišų koncentraciją aktyviame šviesos diodo sluoksnyje. Visų šių matavimų tikslas buvo įvertinti elektrinio lauko pasiskirstymą p-n sandūros erdvinio krūvio srityje, bei rasti jo vidutinę vertę. Elektrinio lauko pasiskirstymą modeliavome skaitmeniniu būdu sprenddami Puasono lygį. Gavome, kad suformuotoje šviestuko struktūroje elektrinio lauko pasiskirstymą galima aproksimuoti p-n sandūros elektrinio lauko pasiskirstymu.

Tuneliavimo modelyje yra naudojama vidutinė elektrinio lauko vertė. Mūsų atveju vidutinė elektrinio lauko vertė buvo apskaičiuota nustačius p-n sandūros erdvinio krūvio srities ilgį remiantis Šoklio teorija. Šios nuskurdintos srities priklausomybė nuo atgalinės įtampos neblogai sutapo su eksperimentiniais rezultatais gautais iš voltafaradinės charakteristikos matavimų, ypač prie didesnių nei 5 V įtampų. Skaičiuojant vidutinio elektrinio lauko vertę reikia žinoti potencialo skirtumą p-n sandūroje. Esant neigiamai įtampai potencialo vertė yra lygi kontaktinio potencialo skirtumo ir pridėtos įtampos

sumai ($U_k + U$). Darbe mes laikėme, kad kontaktinis potencialų skirtumas nekinta ir yra lygus 3,3 V. Reikėtų pastebėti, kad įvedus šias aproksimacijas elektrinio lauko vertė tampa proporcinga potencialo skirtumui p-n sandūroje: $E \sim \sqrt{U_k + U}$.

Kaip matyti iš 1 pav. pateiktų voltamperinių šviestuko charakteristikų, tuneliavimo modelis neblogai aprašo nuotėkių sroves prie didesnių nei 5 V įtampų. Esant mažesnėms įtampoms, stebimas nuokrypis nuo modelio. Paskaičiavome, kad tuneliavimo barjero ilgis 5-10 V intervale sumažėja nuo 5,3 iki 4,5 nm. Šios vertės yra pakankamos, kad vyktų tuneliavimo procesas. Krintant įtampai tuneliavimo ilgis didėja ir šis procesas tampa mažai tikėtinas.

Sutapatinant teorines kreives su eksperimentiniais rezultatais buvo varijuojama dviem parametrais būsenų tankiu N_s ir barjero aukščiu ϵ_T . Mes nustatėme, kad defektų būsenų tankis, gautas iš atgalinės voltamperinės charakteristikos skirtingose temperatūrose, gali būti tiesiogiai susijęs su sraigčių dislokacijų tankiu, nes jų vertės neblogai sutampa. Sraigčių dislokacijų tankis darbe buvo įvertintas šalia pagaminto diodo struktūros taikant katodoliuminescenciją.



1 pav. InGaN šviestuko agalinių voltamperinių charakteristikų priklausomybė nuo temperatūros. Eksperimentiniai duomenys pavaizduoti taškais, teoriniai rezultatai - išsivėsusiomis kreivėmis. Laikėme, kad krūvininkų tuneliavimo procese vyrauja sąveika su optiniais fononais, kurių energija 0,07 eV.

Reikšminiai žodžiai: nuotėkio srovė, InGaN šviestukas, fononai.

Literatūra

[1] P. Pipinys and V. Lapeika, J. Appl. Phys. 99, 093709 (2006).