

# Krūvininkų pernaša ir rekombinacija netvarkios sandaros medžiagose

## Charge carriers transport and recombination in disordered materials

Gytis Juška, Kęstutis Arlauskas, Kristijonas Genevičius  
Vilniaus universitetas, Fizikos fakultetas, Saulėtekio al. 3, LT-10257 Vilnius  
[gytis.juska@ff.vu.lt](mailto:gytis.juska@ff.vu.lt)

Šiame pranešime pateikiami krūvininkų pernašos ir rekombinacijos netvarkiose medžiagose tyrimo metodai [1].

Krūvininkų ekstrakcijos tiesiškai didėjančia įtampa metodas (CELIV – *Charge Extraction by Linearly Increasing Voltage*) įgalina matuoti krūvininkų pernašos charakteristikas santykinai laidžiose medžiagose, kuriose klasikinis lėkio trukmės metodas netinkamas [2]. Naudojant CELIV metodą buvo tirti perspektyvūs hidrogenizuoto mikrokristalinio ir nanokristalinio silicio bei  $\pi$ -konjuguotų polimerų ir jų tūrinių heterosandūrų sluoksniai. Šis metodas įgalina išmatuoti bandinio tūrinį laidumą, dielektrinę skvarbą, pusiausvyrų krūvininkų judrį bei tankį, nustatyti judrio priklausomybės nuo elektrinio lauko stiprio priežastį.

Foto-CELIV metodas naudojamas atskirai matuojant fotogeneruotų krūvininkų judrio ir jų tankio relaksacijas po fotosužadavimo [3]. Tai ypatingai svarbu tiriant krūvininkų elgesį netvarkiuose dariniuose, kuriems būdinga stochastinė krūvininkų pernaša, kai krūvininkų judris mažėja ilgėjant laiko trukmei po fotogeneracijos. Injektuotų į metalas/izoliatorius/puslaidininkis (MIS - *angl.*) sandarą krūvininkų ekstrakcijos (i-CELIV) metodo privalumai - nėra rekombinacijos įtakos, aiškus krūvininkų pasiskirstymas, patogu atskirai nustatyti elektronų ir skylių judrius [4].

Kiti metodai, naudojami tirti rekombinacijos savybes netvarkiuose dariniuose yra integrinės erdvinio krūvio ribotos srovės kinetikos, plazmos injekcijos bei dvigubos injekcijos srovių kinetikos, srovės kinetikos lauko efekto organinių medžiagų tranzistoriuje [5]. Mažo judrio medžiagoms būdinga bimolekulinė Lanževano rekombinacija, kuri yra sąlygota krūvininkų pernašos. Iš srovės kinetikos formos galima nustatyti ar rekombinacija atitinka Lanževano atvejį, ar yra redukuota. Tai itin svarbu tiriant krūvininkų rekombinaciją organiniuose Saulės elementuose (OSE). Taip pat galima nustatyti pernašos ir rekombinacijos parametrus: greitesniųjų ir lėtesniųjų krūvininkų judrius, bimolekulinės rekombinacijos koeficiento priklausomybę nuo elektrinio lauko stiprio ir k.t.

Naudojant CELIV metodikas buvo ištirtos krūvininkų kvantinio fotogeneracijos efektyvumo, judrių, rekombinacijos bei prilipimo savybės, nulemiančios Saulės elementų efektyvumą,

hidrogenizuoto amorfinio silicio ir mikrokristalinio silicio sluoksniuose.

Tiriant organinių polimerinių sluoksnių skirtų Saulės celėms savybes parodyta, kad fotosužadintų skylių judris relaksuoja nuo  $10^{-1} \div 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{Vs}$  subnanosekundinių laikų intervale iki  $10^{-5} \div 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{Vs}$  milisekundinėse trukmėse, ir ši relaksacija neįtakota tuo pat metu vykstančios krūvininkų tankio relaksacijos.

Vienarūšių organinių medžiagų sluoksniuose bimolekulinė rekombinacija yra Lanževano, o jų mišiniuose (tūrinėse heterosandūrose) krūvininkų bimolekulinė rekombinacija žymiai sumažinta dėl elektronų ir skylių erdvinio išskyrimo, nulemiančio jų tolesnę pernašą link priešingų elektrodų skirtingais keliais. Remiantis šiais metodais nustatyta bimolekulinės rekombinacijos koeficiento priklausomybė nuo trukmės po sužadavimo, bei apie 1000 kartų redukuotos Lanževano rekombinacijos priežastis: po atkaitinimo tūrinėse heterosandūrose OSE susiformuoja 2D struktūros, kurių buvimas sumažina rekombinacijos spartą ir padidina OCE efektyvumą.

Tiriant organinių lauko efekto darinių srovės kinetikų bei injekcinio CELIV charakteristikas, nustatytas krūvininkų judris išilgai ir skersai organinės medžiagos sluoksnio, t.y. buvo sukurta metodika tirti sluoksnio morfologijos įtaką krūvininkų judriui.

*Reikšminiai žodžiai: netvarkus dariniai, krūvininkų pernaša, rekombinacija*

### Literatūra

- [1] A. Pivrikas, N. S. Sariciftci, G. Juška, R. Osterbacka, Prog. Photovolt: Res. Appl. **15**, 677-696, 2007.
- [2] G. Juška, K. Arlauskas, M. Viliūnas, J. Kočka, Phys. Rev. Lett. **84**, 4946, 2000
- [3] R. Osterbacka, A. Pivrikas, G. Juška, K. Genevičius, K. Arlauskas, H. Stubb, Curr. Appl. Phys. **4**, 534, 2004
- [4] G. Juška, N. Nekrašas, K. Genevičius, J. Non-Cryst. Sol. **358**, 748, 2012
- [5] G. Juška, N. Nekrašas, K. Genevičius, T. Grigaitis, J. Appl. Phys. **116**, 023702, 2014