

# Energijos perdavimo procesai iterbiu legiruotuose cezio švino halidų perovskituose

## Energy transfer processes in lead halide perovskites doped with ytterbium

Simona Streckaitė<sup>1</sup>, Lukas Miklušis<sup>1</sup>, Karolina Maleckaitė<sup>1</sup>, Lamiaa Abdelrazik<sup>1</sup>, Vidmantas Jašinskas<sup>1</sup>, Vidas Pakštas<sup>1</sup>, Audrius Drabavičius<sup>1</sup>, Danielis Rutkauskas<sup>1</sup>, Artūras, Katelnikovas, Marius Franckevičius<sup>1</sup>, Vidmantas Gulbinas<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fizinių ir technologijos mokslų centras, Saulėtekio al. 3, 10257 Vilnius

<sup>2</sup>Vilniaus universitetas, Naugarduko g. 24, 03225 Vilnius

simona.streckaite@ftmc.lt

Perovskitai tapo gerai žinomi dėl jų taikymo efektyviuose saulės elementuose (SC). Didžiulė perovskito tipo junginių, pasižyminčių įvairiomis fizinėmis ir optoelektroninėmis savybėmis, įvairovė leidžia juos pritaikyti ir kituose prietaisuose. Charakteristikos, tokios kaip fotoluminescencijos kvantinė išeiga (PLQY), sugertis ir emisija, defektinių būsenų tankis ir kt., gali būti keičiamos arba sukuriamos, į švino halidų perovskitus (LHP) įterpiant metalo arba lantanoido (Ln) priemaišų. Dėl šviesos konversijos žemyn perovskitai, fluorescuojantys matomos (VIS) šviesos diapazone, gali perduoti savo energiją priemaišoms, turinčioms mažesnę draustinę energijos tarpą. Dėl kvantinio skaidymo reiškinio, tokių Ln legiruotų sistemų PLQY gali viršyti vienetą, nes vienas didelės energijos fotonas gali virsti dviem mažos energijos fotonais [1-3]. Tai ypač įdomu fotovoltinėms technologijoms, nes gali padėti padidinti SC efektyvumą virš Shockley-Queisser ribos.

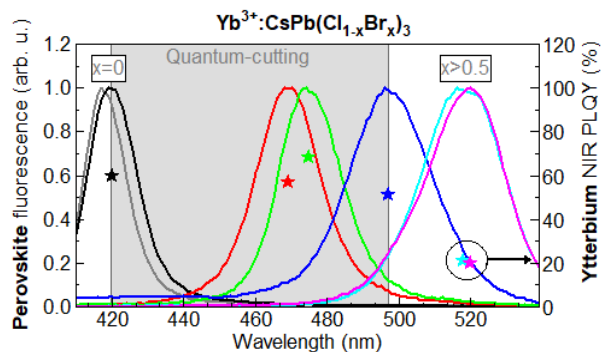
Įprastas SC efektyviai paverčia elektra tik ilgabangę šviesą, kurios fotonų energija yra artima puslaidininkio energijos juostos tarpui. Tuo tarpu tik mažiau nei pusė ultravioletinių, mėlynujų ir iš dalies žaliųjų fotonų energijos yra paverčiama elektros energija. Perovskitai stipriai sugeria trumpo bangos ilgio fotonus lengvai derinamame sugerties spektriniame diapazone, o Ln iterbis pasižymi liuminescencija artimojoje infraraudonojoje (NIR) srityje ties maždaug 1000 nm. Tokia emisija yra optimali silicio (Si) saulės elementams.

Nepaisant daugybės Ln legiravimo metodų LHP ir jų pritaikymo optoelektronikoje, šių medžiagų fotofizikinės savybės vis dar menkai suprantamos. Pavyzdžiui, diskutuojama, ar  $\text{Yb}^{3+}$  priemaišos sukelia defektų būsenas perovskite, per kurias eksitoninė energija perduodama dviem priemaišų jonams [2], ar ji perduodama tiesiogiai kvantinio skaidymo proceso metu [3]. Taigi išsamus energijos perdavimo iš perovskito į lantanoido priemaišas mechanizmas ir jį ribojantys veiksniai dar nėra paaiškinti, nepaisant lemiamo vaidmens legiruotų medžiagų inžinerijoje ir optoelektronikos prietaisų optimizavime.

Šiame darbe kvantinio skaidymo reiškinys  $\text{Yb}^{3+}$  legiruotuose  $\text{CsPb}(\text{Cl}_x\text{Br}_{1-x})_3$  sluoksniuose ir milteliuose buvo ištirtas derinant fluorescencijos mikroskopiją, VIS-NIR stacionariosios ir laikinės fotoluminescencijos, žadinimo-zondavimo bei fotoelektronų kameros spektroskopijos metodus. NIR emisijos išnykimas legiruotiems perovskitams, kurių eksitoninė emisija viršija 500 nm, patvirtina mūsų bandiniuose vykstantį

kvantinio skaidymo reiškinį (1 pav.). Remdamiesi eksperimentų rezultatais, manome, kad kvantinis skaidymas vyksta pernešant elektronus ir skyles bei siūlome perdavimo procesų schemą. Ištyrus NIR liuminescencijos dinamikos priklausomybę nuo  $\text{Yb}^{3+}$  koncentracijos, aptikti dviejų rūšių  $\text{Yb}^{3+}$  jonai: pavieniai jonai, kurių liuminescencijos trukmė yra apie 0,15 ms, o kvantinė išeiga maža, bei dimeriniai kompleksai, kurių gyvavimo trukmė yra apie 1,5 ms, o liuminescencijos išeiga beveik 100 %.

Ištyrėme kelis kvantinio skaidymo efektyvumą ribojančius veiksnius: a) neefektyvų eksitono energijos perdavimą iš perovskito į iterbį, b) energijos perdavimą paviniams iterbio jonams, c) neefektyvią iterbio jonų liuminescenciją, d) iterbio liuminescencijos gesinimą priemaišomis ir (arba) defektais. Nustatėme, kad neefektyvus energijos perdavimas ir energijos perdavimas į atskirus iterbio jonus yra pagrindiniai ribojantys veiksniai.



1 pav. Eksitoninės perovskito emisijos spektrai VIS srityje su atitinkamu iterbio priemaišų NIR PLQY (žvaigždės). Kvantinis skaidymas vyksta tik pilkai pažymėtoje spektro srityje.  $\lambda_{exc} = 375$  nm.

*Reikšminiai žodžiai: perovskitas, iterbis, legiravimas iterbiu, kvantinis skaidymas, energijos pernaša.*

### Literatūra

- [1] T. J. Milstein, et al., Nano Lett. **18**, 3792 (2018).
- [2] D. M. Kroupa, et al., ACS Energy Lett. **3**, 2390 (2018).
- [3] A. Ishii & T. Miyasaka, JCP **153**, 194704 (2020).

### Padėka

Mokslinis tyrimas finansuojamas Europos socialinio fondo lėšomis pagal priemonę Nr. 09.3.3-LMT-K-712 „Mokslininkų, kitų tyrėjų, studentų mokslinės kompetencijos ugdymas per praktinę mokslinę veiklą“ (sutarties Nr. S-PD-22-4).