

# Kiek dislokacijų galima sutalpinti InGaN junginyje neprarandant našumo?

## How many dislocations an InGaN alloy can fit without losing efficiency?

Žydrūnas Podlipskas<sup>1</sup>, Kazimieras Nomeika<sup>1</sup>, Mariamija Nikitina<sup>1</sup> ir Ramūnas Aleksiejūnas<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Vilniaus universitetas, Fotonikos ir nanotechnologijų institutas, Saulėtekio al. 3, LT-10257 Vilnius  
[zydrunas.podlipskas@ff.vu.lt](mailto:zydrunas.podlipskas@ff.vu.lt)

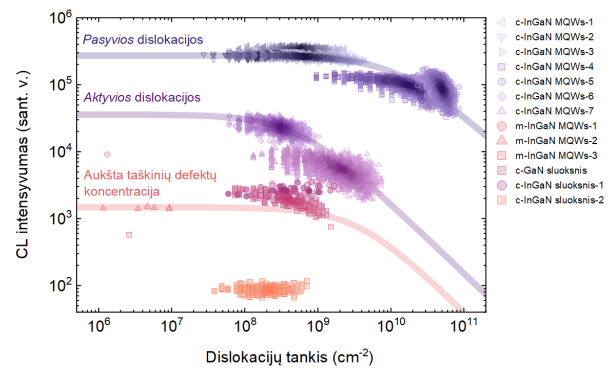
Norint įvertinti defektų įtaką InGaN junginių liuminescencijos našumui (angl. trumpinys IQE) įprastai yra pasitelkiami modeliniai bandinių rinkiniai su kruopščiai parinktais dislokacijų ar taškinių defektų tankiais. Siekdami to išvengti mes sukūrėme algoritmą, galintį atskleisti sąryšį tarp IQE ir defektų tankio pavieniuose niekuo neypatinguose bandiniuose, o ne koordinuotuose jų rinkiniuose. Papildomai, mes suradome būdą, leidžiantį apjungti pastarojo sąryšio duomenis su difuzija ribotos rekombinacijos (angl. trumpinys DLR) modeliu, ir gebantį atskirti dislokacijų ir taškinių defektų indėlius našumo krytyje bei nustatyti dislokacijų aktyvumo lygį nespindulinės rekombinacijos procese.

Algoritmo seka yra ši:

- (i) išmatuojama didelį bandinio plotą apimanti antrinių elektronų (angl. trumpinys SE) ir katodoliuminescencijos (angl. trumpinys CL) vaizdų pora;
- (ii) vienas iš vaizdų yra apdorojamas gausiniu-laplacianiniu briaunų atpažinimo filtru [1], padedančiu automatiškai identifikuoti dislokacijas;
- (iii) SE-CL vaizdai yra padalinami į tūkstančius skirtingo ploto sektorių, suteikiančių informaciją apie lokalų dislokacijų tankį ir jį atitinkantį lokalų CL intensyvumą;
- (iv) pasitelkus šiuos duomenis yra sukonstruojama bandiniui unikali CL intensyvumo priklausomybė nuo dislokacijų tankio;
- (v) dinaminių difrakcinių gardelių ir fotoluminescencijos eksperimentais yra įvertinamos difuzijos koeficiento, krūvininkų gyvavimo trukmės ir IQE vertės;
- (vi) pasitelkus pastarąsias vertes bei *ABC* modelį [2] nustatomi *A<sub>SRH</sub>*, *B* ir *C* rekombinacijos koeficientai, pritaikomi DLR modelyje;
- (vii) atsižvelgiant į IQE matavimus yra sukalibruojama CL intensyvumo priklausomybė nuo dislokacijų tankio ir atliekama modifikuoto DLR modelio [3] aproksimacija; ši turi tik vieną laisvai keičiamą parametą – *S*, aprašantį nespindulinėje rekombinacijoje dalyvaujančių dislokacijos būsenu dalį ( $0 \div 1$ ), arba kitaip – dislokacijos *aktyvumo* lygį.

Šis algoritmas buvo panaudotas tiriant įvairios kilmės InGaN darinius: nuo *c* plokštumos sluoksnių iki *c* ar *m* plokštumos daugybinių kvantinių duobių struktūrų (angl. trumpinys MQWs). Algoritmas atskleidė visus InGaN bandinius esant itin skirtingais: kai kurie jų gali „pasigirti“ dislokacijų tankiu, viršijančiu  $1 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ , ir

kartu – netikėtai aukštu IQE (juose  $S = 0.05$ , kas atspindi *pasivyias* dislokacijas); kiti bandiniai patiria staigų IQE kritį dislokacijų tankiui viršijus  $1 \times 10^9 \text{ cm}^{-2}$  (juose  $S = 0.4$ , tad dislokacijos – *aktyvios*), o dalis jų pasižymi itin aukšta taškinių defektų koncentracija ir kritiškai žemu IQE, nors dislokacijų tankis tesiekia  $1 \times 10^6 \text{ cm}^{-2}$ .



1 pav. Lokalaus CL intensyvumo priklausomybė nuo dislokacijų tankio įvairios kilmės InGaN dariniuose; išsinišėmis linijomis žymimos skirtingus atvejus atitinkančios DLR modelio aproksimacijos: *pasivyių* dislokacijų, *aktyvių* dislokacijų ar aukštos taškinių defektų koncentracijos įtaka IQE.

*Reikšminiai žodžiai:* InGaN, dislokacijos, katodoliuminescencija, rekombinacija, difuzija, dinaminės difrakcinės gardelės, skaitmeninis vaizdų apdorojimas.

### Literatūra

- [1] [https://scikit-image.org/docs/stable/api/skimimage.feature.html#skimage.feature.blob\\_log](https://scikit-image.org/docs/stable/api/skimimage.feature.html#skimage.feature.blob_log) | aplankyta 2023-09.
- [2] Nomeika *et al.*, *J. Mater. Chem. C.*, **10.5**, 1735 (2022).
- [3] Karpov and Makarov, *Appl. Phys. Lett.*, **81**, 4721 (2002).