

InGaN šviestukų rekombinacijos koeficientų nustatymas iš mažo sužadinimo fotoluminescencijos matavimų

Small Signal Photoluminescence investigation of InGaN LED Recombination Coefficients

I. Reklaitis¹, F. Nippert², R. Kudžma¹, T. Malinauskas¹, S. Karpov³, I. Pietzonka⁴, H. J. Lugauer⁴, M. Strassburg⁴, P. Vitta¹, R. Tomašiūnas¹, A. Hoffmann²

¹Institute of Applied Research, Vilnius University, Saulėtekio 10, LT-10223 Vilnius, Lithuania

²Institut für Festkörperphysik, Technische Universität Berlin, Handenbergsstraße 36, 10623 Berlin, Germany

³STR Group Soft-Impact Ltd., P.O.Box 83, 27 Engels av. 194156 St. Petersburg, Russia

⁴OSRAM Opto Semiconductors GmbH, Leibnizstraße 4, D-93055 Regensburg, Germany

ignas.reklaitis@tmi.vu.lt

Išmatuotas diferencines krūvininkų gyvavimo trukmes [1] (angl. *Differential carrier lifetime*, DLT) yra įprasta analizuoti naudojantis vadinamuoju ABC-modeliu [2], ypač, kai bandoma paaiškinti vadinamąjį *droop* reiškinį, kuomet sumažėja šviestuko išorinis kvantinis našumas didinant tiesioginę juo tekančią srovę [3]. Įvedus normuotos optinės galios P ir kokybės faktoriaus Q sąvokas, normuotą išorinį kvantinį našumą (EQE) galima apibrėžti taip [4]:

$$\frac{EQE_{max}}{EQE} = \frac{Q + P^{1/2} + P^{-1/2}}{Q + 2}, \quad (1)$$

tuomet kokybės faktorių Q galima nustatyti atliekant nesudėtingą EL matavimą prie skirtingų šviestuku tekančių srovių. Jei yra žinodama DLT priklausomybė nuo šviestuku tekančios srovės stiprio, tuomet nesunkiai galima nustatyti ir *Shockley–Read–Hall* (SRH) rekombinacijos koeficientą A :

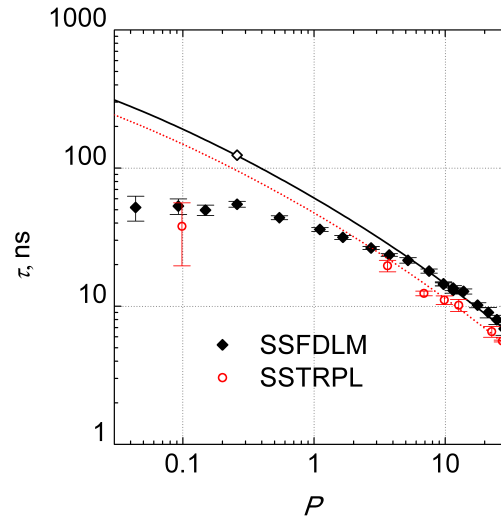
$$\tau = \frac{1}{A + 2BN + 3CN^2} \quad [2] \quad (2)$$

$$\tau = \frac{A^{-1}}{1 + 2QP^{1/2} + 3P} \quad [5]. \quad (3)$$

Čia A - *Shockley-Read-Hall* rekombinacijos, B - bimolekulinės rekombinacijos, o C - Ožė rekombinacijos koeficientai, τ - diferencinė krūvininkų gyvavimo trukmė. Q ir P parametrų įvedimas [4] leidžia nustatyti SRH koeficientą vien iš EL ir DLT matavimų, tuo pačiu nereikia daryti sunkiai pagrindžiamų prielaidų dėl krūvininkų tankio priklausomybės nuo šviestuku tekančios srovės $N(I)$ [5]. Kuomet yra žinomos Q ir A koeficientų vertės, nesunku apskaičiuoti ir kitus ABC-modelio rekombinacijos koeficientus [5].

Pranešime bus pristatyti ir palyginti (žr. 1 pav.) to paties šviestuko ABC-modelio rekombinacijos koeficientai nustatyti naudojant mažo signalo matavimo metodą su laikine skyra (angl. *small-signal time-resolved photoluminescence*, SSTRPL) ir su dažnine skyra (angl. *small-signal frequency-domain lifetime measurements*, SSFDLM). Iš pristatomų rezultatų buvo nustatyta, kad DLT priklausomybė nuo P , naudojant su skirtingus matavimo būdus yra identiška. Taip pat, atlikus eksperimento palyginimą su teoriniu modeliu, buvo nustatyta, kad ABC-modelis

patikimai aprašo rezultatus, tik kai normuotos optinės galios vertė P viršija 4, t.y. kai galima ignoruoti krūvininkų išstrūkimą iš aktyviosios šviestuko srities.



1 pav. DLT matuotų naudojant SSFDLM (juodi rombai) ir SSTRPL (raudoni tuščiaiduriai apskritimai) palyginimas, kaip funkcija nuo normuotos šviestuko optinės galios P [6]. Linijos sumodeliuotos naudojant (3) lygtį.

Reikšminiai žodžiai: ABC-modelis, InGaN kvantinės duobės, diferencinė krūvininkų gyvavimo trukmė

Literatūra

- [1] A. David, M.J. Grundmann, Appl. Phys. Lett. **96**, 103504 (2010).
- [2] B. Galler, P. Drechsel, R. Monnard, P. Rode, P. Stauss, S. Froehlich, W. Bergbauer, M. Binder, M. Sabathil, B. Hahn, J. Wagner, Appl. Phys. Lett. **101**, 131111 (2012).
- [3] J. Piprek, Phys. Status Solidi A **207**(10), 2217(2010).
- [4] I.E. Titkov, S.Y. Karpov, A. Yadav, V.L. Zerova, M. Zulonas, B. Galler, M. Strassburg, I. Pietzonka, H.J. Lugauer, E.U. Rafailov, IEEE J. Quant. Electron. **50**, 911 (2014).
- [5] F. Nippert, S. Karpov, I. Pietzonka, B. Galler, A. Wilm, T. Kure, C. Nenstiel, G. Callsen, M. Strassburg, H.J. Lugauer, A. Hoffmann, Jpn. J. Appl. Phys. **55**, 05FJ01 (2016).
- [6] I. Reklaitis, F. Nippert, R. Kudžma, T. Malinauskas, S. Karpov, I. Pietzonka, H. J. Lugauer, M. Strassburg, P. Vitta, R. Tomasiunas, and A. Hoffmann, J. Appl. Phys. **121**, 035701 (2017).