

## ATKAITINTŲ GaAsBi/AIAs KVANTINIŲ DUOBIŲ FOTOLIUMINESCENCIJOS TYRIMAS

E. Pozingytė<sup>1</sup>, R. Butkutė<sup>1</sup>, B. Čechavičius<sup>1</sup>, S. Stanionytė<sup>2</sup>, M. Skapas<sup>2</sup>, V. Karpus<sup>1</sup>, A. Krotkus<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fizinių ir technologijos mokslų centras, Optoelektronikos skyrius,

<sup>2</sup>Fizinių ir technologijos mokslų centras, Medžiagų struktūrinės analizės skyrius

Saulėtekio al. 3, LT-10257 Vilnius, el. p.: [evelina.pozingyte@ftmc.lt](mailto:evelina.pozingyte@ftmc.lt)

GaAsBi plačiai tyrinėjami dėl galimybės juos naudoti gaminant ilgabangės optoelektronikos prietaisus t.y. lazerinius diodus [1], terahercinius komponentus [2], ir net saulės elementus [3]. Tačiau, užauginti kokybiškus GaAs<sub>1-x</sub>Bi<sub>x</sub>, kai  $x > 0.05$ , sluoksnius vis dar iššūkis, nes struktūros molekulių pluoštelių epitaksijos (MBE) metodu turi būti auginamos santykinai žemose temperatūrose, o tai lemia didelį defektų kiekį. Šie defektai veikia kaip nespindulinės rekombinacijos centrai, kurie mažina fotoluminescencijos (PL) intensyvumą. Standartiškai sluoksnių kokybė yra gerinama atkaitinant juos aukštesnėje nei auginimo temperatūroje. Visgi, atkaitinimo efektas GaAsBi sluoksniams nėra trivialis. Atkaitinus GaAsBi esant temperatūrai  $T > 600$  °C, bismutas klasterizuoja [4].

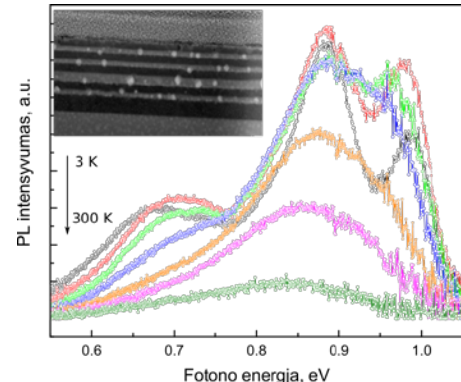
Šiame darbe buvo tirtos kombinuotu MBE ir migraciją skatinančios epitaksijos (MEE) metodu užaugintos GaAsBi/AIAs kvantinių duobių (QWs) struktūros. Buvo tiriami įvairiomis sąlygomis užauginti QWs bandiniai; buvo keičiamas tiek duobių, tiek barjerinių sluoksnių storis ir skaičius. Visos tirtos struktūros po auginimo buvo 3 min kaitinamos 750 °C temperatūroje. GaAsBi/AIAs QWs charakterizavimui buvo pasitelkta aukštos skyros peršviečiamoji elektroninė mikroskopija (HRTEM) ir PL (matavimai atlikti 3–300 K temperatūrų intervale).

Iš struktūrinių HRTEM matavimų akivaizdžiai matyti (žr. intarpą 1 pav.), kad bandinių atkaitinimas 750 °C temperatūroje sąlygoja klasterių formavimąsi. TEM elementinės sudėties tyrimas parodė, kad nanokristalitai sudaryti iš gryno bismuto.

Palyginus GaAsBi/AIAs QWs struktūrų PL spektrus prieš ir po atkaitinimo matosi, kad defektų skaičius sumažėjo – PL intensyvumas ženkliai išaugo. Taip pat, žemų fotonų energijų srityje (0.55 – 1.05 eV) atsiranda papildoma PL smailė, kurią susiejome su emisija iš Bi QDs. Atlikti fotoluminescencijos temperatūrinės priklausomybės tyrimai parodė (1 pav.), kad ši PL smailė turi savo vidinę struktūrą – sudaryta iš trijų PL komponentų, kurių padėtys gali būti susijusios su skirtingo diametro Bi QDs.

Atliktas teorinis bismuto energijos spektro įvertinimas parodė, kad dėl dimensinio kvantavimo efektų, mažų diametrų ( $d < 17$  nm) Bi kvantiniai taškai iš pusmetalinių virsta puslaidininkiniais turinčiais tiesioginį draustinių energijų tarpą. Skaičiavimų numatomas efektyvus draustinių energijų tarpas 10 nm QDs yra apie 0.76 eV, o tai gana gerai sutampa su eksperimentiškai stebėta papildomos PL smailės padėtimi. Tai patvirtina hipotezę, kad papildomą PL smailę lemia optiniai šuoliai Bi QDs.

Taip pat, labai svarbu paminėti, kad papildomos PL smailės spektrinė padėtis silpnai priklauso nuo temperatūros. Jos Varshni parametrai yra kelis kartus mažesni nei standartiniuose puslaidininkiuose. Tai svarbus ypatumas siekiant nagrinėjamas struktūras pritaikyti optoelektronikoje.



1 pav. Atkaitinto GaAsBi/AIAs QWs bandinio temperatūriniai PL spektrai žemų fotonų energijų srityje (papildoma PL smailė). Intarpas – atkaitinto bandinio HRTEM nuotrauka.

Šis darbas buvo remiamas LMT (Nr. MIP-71/2015, BiNano).

### Literatūra

1. X.Wu, W.Pan, Z.Zhang, Y.Li, C. Cao, J.Liu, L.Zhang, Y.Song, H.Ou, S.Wang, ACS Photonics **4**, 1322 (2017).
2. K. Bertulis, A. Krotkus, G. Aleksejenko, V. Pačebutas, R. Adomavičius, G. Molis, S. Marcinkevičius, Appl. Phys. Lett. **88**, 201112 (2006).
3. T.Thomas, A.Mellor, N.P.Hylton, M.Führer, D. Alonso-Álvarez, A.Braun, N.J.Ekins-Daukes, J.P.R.David, S.J.Sweeney, Semicond. Sci. Technol. **30**(9), 094010 (2015).
4. R. Butkutė, K. Stašys, V. Pačebutas, B. Čechavičius, R. Kondrotas, A. Geižutis, A. Krotkus, Opt. Quant. Electron. **47**(4), 873 (2015).