

Bismuto nanokristalaiti atkaitintose GaAsBi/AlAs kvantinėse duobėse

Bismuth nanoparticles in thermally annealed GaAsBi/AlAs quantum wells

E. Pozingytė, R. Butkutė, B. Čechavičius, G. Niaura, M. Skapas, A. Selskis, V. Karpus, A. Krotkus
Fizinių ir technologijos mokslų centras, Saulėtekio al. 3, 10257 Vilnius
evelina.pozingyte@ftmc.lt

Kietieji GaAsBi lydiniai plačiai tiriama dėl jų perspektyvumo optoelektroninėje inžinerijoje [1, 2]. Siekiant į GaAs įterpti didesnę nei 5 % Bi kiekį, molekulių pluoštelio epitaksiniai (MBE) sluoksniai yra auginami žemose temperatūrose. Tai žemina bandinių struktūrinę kokybę, didina nespindulinės rekombinacijos centrų koncentraciją, mažina fotoluminescencijos (PL) intensyvumą. Standartinis struktūrinių defektų eliminavimo būdas yra atkaitinimas aukštesnėje nei auginimo temperatūroje. Tačiau atkaitinimo efektas GaAsBi sluoksniams nėra trivialus [3, 4], esant atkaitinimo temperatūrai $T > 600^\circ \text{C}$, jis sąlygoja bismuto nanoklasterizaciją.

Šiame darbe buvo tirtos dviejų tipų GaAsBi/AlAs multi-kvantinės duobės (QWs), kurios buvo užaugintos kombinuotu MBE ir migraciją skatinančios epitaksijos (*migration-enhanced epitaxy*, MEE) metodu ant pusiau izoliuojančių GaAs (100) padėklų. Pirmojo tipo bandinį (A) sudaro trys 10 nm ir viena 20 nm pločio kvantinės duobės, atskirtos 20 nm AlAs barjeriais. Antrojo tipo bandinį (B) sudaro dvidešimt 10 nm pločio QWs su 5 nm AlAs barjeriais. Abu bandiniai po MBE auginimo buvo 180 s atkaitinti 750°C temperatūroje. Bandiniai buvo tirti naudojant aukštos skyros peršviečiamąją elektroninę mikroskopiją (HRTEM), Ramano spektroskopiją ir fotoluminescenciją. (PL matavimai buvo atlikti 3 – 300 K temperatūrų intervale.)

Elektroninė HRTEM mikroskopija akivaizdžiai atskleidė (žr. interpą 1 pav.), kad bandinių atkaitinimas sąlygoja nanoklasterių formavimąsi. Klasterių diametrai koreliuoja su GaAsBi kvantinių duobių pločiais A- ir B-bandiniuose. TEM elementinės sudėties tyrimai ir Ramano spektroskopija parodė, kad nanoklasteriai, kvantiniai taškai (QDs), sudaryti iš gryno Bi.

Fotoluminescencijos tyrimų rezultatus iliustruoja 1 pav., kuriame pateikiami B-bandinio kambario temperatūros PL spektrai prieš atkaitinimą ir po jo. Kaip matyti, atkaitinimas stipriai mažina defektų skaičių, – fotoluminescencijos intensyvumas ženkliai didėja. Žemų fotonų energijų srityje (1.3 – 1.7 μm) atsiranda papildoma PL smailė, kuri, natūralu, gali būti siejama su emisija iš susiformavusių Bi kvantinių taškų.

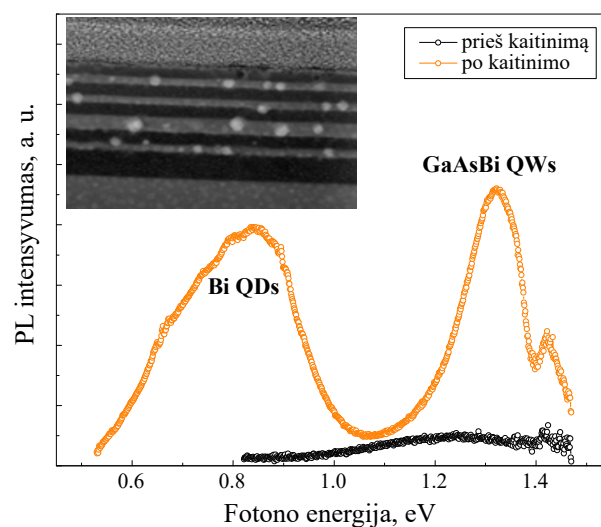
Darbe atlikti fotoluminescencijos temperatūrinės priklausomybės tyrimai atskleidė, kad papildomoji PL smailė turi savo vidinę struktūrą, – ji sudaryta iš trijų komponentų, centruotų (3 K temperatūroje) ties 0.67, 0.88 ir 0.98 eV. A-tipo bandinyje smailės struktūra yra stipriau išreikšta, B-bandinyje dominuoja 0.85 eV komponentė, siejama su 10 nm Bi kvantiniai taškais.

Atlikti teoriniai Bi energijos spektro įvertinimai parodė, kad dėl dimensinio kvantavimo efektų mažų dia-

metrų ($d < 15 \text{ nm}$) Bi kvantiniai taškai tampa tiesioginiais puslaidininkiais. Efektinis draustinių energijų tarpas 10 nm kvantiniuose taškuose yra maždaug 0.76 eV, artimas eksperimentinei papildomos PL smailės padėčiai. Tai patvirtina prielaidą, kad papildomą PL smailę sąlygoja optiniai šuoliai bismuto kvantiniuose taškuose.

Reikšmingas eksperimentiškai atskleistas papildomos PL smailės ypatumas yra tas, kad jos spektrinė padėtis (tirtame temperatūriname 3 – 300 K intervale) labai silpnai priklauso nuo temperatūros (smailės Varshni parametrai yra kelis kartus žemesni lyginant su jų vertėmis įprastiniuose puslaidininkiuose). Tai svarbus nagrinėjamų struktūrų privalumas, turint omenyje jų projektavimą optoelektroniniams prietaisams telekomunikacinių bangos ilgių ruože.

Šis darbas buvo remiamas LMT (nr. MIP-71/2015, „Bismuto kvantiniai taškai GaAs matricioje“ BiNano).



1 pav. GaAsBi/AlAs multi-QWs bandinio PL spektrai prieš atkaitinimą ir po jo. Intarpas – atkaitinto bandinio HRTEM mikrografija.

Reikšminiai žodžiai: GaAsBi, bismuto kvantiniai taškai, fotoluminescencija

Literatūra

- [1] K. Bertulis, A. Krotkus, G. Aleksejenko, V. Pačebutas, R. Adomavičius, G. Molis, S. Marcinkevičius, Appl. Phys. Lett. **88**, 201112 (2006).
- [2] I. P. Marko, C. A. Broderick, S. Jin, P. Ludewig, W. Stolz, K. Volz, J. M. Rorison, E. P. O'Reilly, S. J. Sweeney, Sci. Rep. **6**, 28863 (2016).
- [3] M. Wu, E. Luna, J. Puustinen, M. Guina, A. Trampert, Nanotechnology **25**, 205605 (2014).
- [4] R. Butkutė, M. Skapas, A. Selskis, V. Bukauskas, S. Stanionytė, G. Niaura, Lith. J. Phys. **57** (2017).