

GaInAsBi sluoksnių, užaugintų ant InP padėklų, tyrimai ir taikymai

Investigation and applications of GaInAsBi layers grown on InP substrates

Sandra Stanionytė, Vaidas Pačebutas, Bronislovas Čechavičius, Virginijus Bukauskas, Andrejus Geizutis, Arūnas Krotkus

Fizinių ir technologijos mokslų centras, Saulėtekio al. 3, 10257 Vilnius

sandra.stanionyte@ftmc.lt

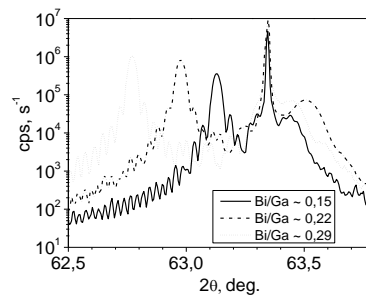
Bismidų junginiais domimasi jau daugiau nei dešimtmetį. Net ir nedidelio bismuto kiekio įvedimas į III-V grupės junginius žymiai sumažina draustinių energijų juostos tarpą (E_g), be to, tokių junginių E_g tampa mažiau jautrus temperatūrai. GaAsBi/GaAs sistemų pritaikymas apsiriboja infraraudonųjų spindulių (IR) trumpesnių nei 1,3 μm bangų ruožu, nes didėjant Bi kiekiui sluoksniuose, prastėja jų kristalinė kokybė, o dėl Bi polinkio segreguoti, sluoksnio paviršius pasidengia metalo lašais. Todėl norint plėtoti optoelektronikos prietaisų veiką tolimesniame IR bangų ruože, $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{As}_{1-y}\text{Bi}_y$ junginiai yra perspektyvesni. Juos užauginus ant GaAs padėklų taikymo ruožą galima praplėsti iki 1,7-1,8 μm , o žvelgiant dar toliau ir auginant ant InP padėklo, $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{As}_{1-y}\text{Bi}_y$ junginiai gali būti alternatyva plačiai praktikoje naudojamoms suderintų gardelių $\text{In}_{0,53}\text{Ga}_{0,47}\text{As}/\text{InP}$ sistemoms. Šios sistemos aprėpia telekomunikacijų bei vidurinio IR ruožo (iki $\sim 1,7 \mu\text{m}$), kuriame veikia optoelektronikos prietaisai, sritį. Auginant suderintų gardelių $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{As}_{1-y}\text{Bi}_y$ sluoksnio ir InP padėklo sistemą, galima veiklos sritį prasplėsti net iki $\sim 6 \mu\text{m}$ [1]. Tokie sluoksniai taip pat gali būti naudojami kaip sugėrikliai pBp fotodioduose, nes bismutas E_g mažina labiau paveikdamas valentinę juostą.

Keturnariai bismidiniai junginiai dar nėra plačiai ištirti, jų auginimo technologija nėra gerai išvystyta, todėl šio darbo tikslas buvo molekulinį pluoštų epitaksijos metodu (MBE) užauginti ir ištirti $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{As}_{1-y}\text{Bi}_y$ sluoksnius ant InP padėklų. Buvo siekiama užauginti kokybiškos kristalinės sandaros sluoksnius, kurie galėtų būti panaudoti optoelektronikos prietaisuose, veikiančiuose vidurinių IR bangų ruožo srityje.

$\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{As}_{1-y}\text{Bi}_y$ sluoksniai buvo auginami ant pusiau izoliuojančio InP (100) padėklo. Elementinė sudėtis, kristalinė sandara, morfologija ir optinės savybės buvo tiriamos atliekant XRD, AFM, fotoluminescencijos ir pralaidumo spektrų matavimus.

Padėklo paviršiui išlyginti buvo auginamas suderintas su padėklo gardelės parametru $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{As}$ buferinis sluoksnis, o ant jo – keturnario $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{As}_{1-y}\text{Bi}_y$ sluoksnis. Kadangi Bi įvedimas į sluoksnį deformuoja gardelę (V grupės mazguose), tai susidariusius įtempimus buvo bandoma pašalinti į buferinį sluoksnį įterpiant didesnę indžio kiekį $\text{Ga}_{0,43}\text{In}_{0,57}\text{As}$, t. y. priartinant gardelės parametru prie $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{As}_{1-y}\text{Bi}_y$ sluoksnio parametro. Iš AFM matavimų rezultatų žymios sluoksnio paviršiaus kokybės pokyčių nuo buferio sudėties ir storio neižvelgta, todėl toliau koncentravomės į E_g sumažinimą.

$\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{As}_{1-y}\text{Bi}_y$ sluoksniai su skirtingais In/Ga srautų santykiais buvo auginami ant $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{As}$ buferio, kurio gardelės parametras sutampa su InP. Bi/Ga srautų santykiai buvo keisti nuo 0,13 iki 0,35 (iki 5% Bi sluoksnyje). Iš XRD matavimų rezultatų matoma (žr. 1 pav.), kad keliant Bi/Ga srautų santykį (In/Ga srautų santykį laikant pastoviu), $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{As}_{1-y}\text{Bi}_y$ smailė slenkasi link mažesnių kampų. Taip yra todėl, kad didinant Bi/Ga srautų santykį, daugiau bismuto įsiterpia į gardelę ir ją deformuoja. Šie rezultatai koreliuoja su fotoluminescencijos matavimų rezultatais, kuriuose didesnis Bi/Ga srautų santykis fotoluminescencijos smailę pastumia į mažesnes energijas. Atlikti fotoluminescencijos matavimai parodė, kad užaugintų $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{As}_{1-y}\text{Bi}_y$ sluoksnių smailė pasistūmėjo net iki 0,52 eV ($\sim 2,4 \mu\text{m}$).



1 pav. $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{As}_{1-y}\text{Bi}_y$ sluoksnių, auginamų naudojant skirtingus Bi/Ga srautus, (004) smailės ω -2 θ skenavimai

Aukščiau minėtiems sluoksniams parinktos technologinės auginimo sąlygos buvo panaudotos auginant Be legiruotus $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{As}_{1-y}\text{Bi}_y$ sluoksnius ir pBp fotodiodus ant p tipo InP (100) padėklų. Fotodiodai buvo jautrūs iki 1,8 μm .

Apibendrinant galima teigti, kad MBE metodu buvo sėkmingai užauginti keturnariai $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{As}_{1-y}\text{Bi}_y$ sluoksniai ant InP padėklų. Ištirtos jų optinės ir struktūrinės savybės bei pademonstruotas pBp fotodiodas su InGaAsBi aktyviaja sritimi leidžia teigti, kad tokie sluoksniai gali būti panaudoti optoelektronikos prietaisų gamyboje ir išplėsti jų funkcines savybes.

Reikšminiai žodžiai: III-V grupės puslaidininkiai, bismidai, optoelektronikos prietaisai.

Literatūra

[1] J. P. Petropoulos et al. *Applied Physics Letters* **99** 031110 (2011).