

p-tipo GaN auginimas MOVPE būdu naudojant indžio surfaktantą

The growth of p-type GaN by MOVPE using indium surfactant

K. German, M. Vaičiulis, K. Nomeika, Y. Talochka, and A. Kadys

Vilniaus Universitetas, Fizikos Fakultetas, Saulėtekio al. 3, 10257, Vilnius
karolina.german@ff.stud.vu.lt

Pirmą kartą p-tipo GaN pademonstravo H. Amano ir jo kolegos [1] paveikę kristalą žemos energijos elektronų spinduliu. Bet esminis III grupės nitridų proveržis puslaidininkų pramonėje įvyko po p-tipo laidumo GaN auginimo technologijos sukūrimo naudojant epitaksijos iš metalo-organinių garų fazės (MOVPE) auginimo technologiją kartu su kristalo terminio pakaitinimo procesu, magnio (Mg) - p-tipo priemaišos pasyvacijos vandeniliu panaikinimui [2]. Bet nemažas azoto vakansijų kiekis GaN užaugintame MOVPE būdu kompensuoja p-tipą Mg legiruotame GaN. Be to, Mg priemaišos jonizacijos energija yra apie 200 meV, kambario temperatūroje yra jonizuota tik apie 10% Mg priemaišų. Nepaisant to, kad p-tipo GaN komerciškai yra ypatingai svarbus, per pastaruosius kelis dešimtmečius vykusių gausybę tyrimų ir bandymų tobulinti auginimo procesus, iki šiol yra labai daug vis dar nelabai suprantamų aspektų, susijusių su p-tipo nitriduose optimizavimu.

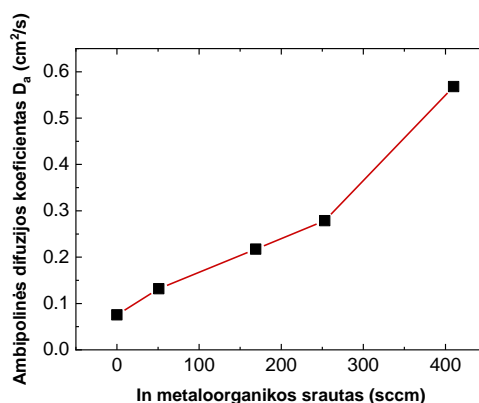
III-grupės nitridų kristalų auginimo technologijoje indis (In) gali būti ne tik kaip vienas iš galimų kristalo cheminės sudėties elementų, bet ir kaip surfaktantas. Yra parodyta, kad auginant GaN žemesnėse temperatūrose molekulinio pluoštelio epitaksijos būdu (MBE) In pagerina GaN paviršiaus morfologiją, mažina gilių lygmenų koncentraciją, didina liuminescencijos efektyvumą ir siaurina spektro pagrindinio piko plotį, ilgina krūvininkų gyvavimo laiką ir gerina skylinį laidumą. Galima tikėtis to paties ir naudojant MOVPE technologiją, GaN auginant vandenilio atmosferoje.

Šiame darbe pateikiame Mg legiruotų GaN epitaksijos monokristalinių sluoksnių auginimo ant GaN/safyro ruošinių MOVPE būdu rezultatus. Technologinių eksperimentų parametrai susieti su struktūrinėmis sluoksnių savybėmis bei nepusiausvirųjų krūvininkų dinamika.

p-tipo GaN 0,18÷0,21 μm storio sluoksnius auginome 950÷890 C⁰ temperatūrų intervale vandenilio atmosferoje esant skirtingiems Mg metaloorganikos (Cp₂Mg) srautams (5,787×10⁻⁷÷1,157×10⁻⁶ mol/min), iš kurių dalį sluoksnių užauginome papildomai į reaktorių tiekdami In metaloorganiką kaip In šaltinį. Visi bandiniai papildomai buvo pakaitinti azoto atmosferoje 850 C⁰ temperatūroje 1200 s Mg priemaišos pasyvacijos efektui neutralizuoti. Rentgeno spindulių difrakcijos eksperimentai parodė, kad mūsų naudojamame auginimo temperatūrų intervale vandenilio atmosferoje žymesnė In koncentracija p-tipo GaN sluoksniuose nefiksuoja (<<1 % In GaN kristale).

Nepusiausvirųjų krūvininkų dinamiką tyrėme bekontaktiniu dinaminio difrakcinių gardelių žadinimo-zondavimo metodu (LITG) naudodami Light Conversion įmonėje pagamintą matavimo sistemą TG-Harpia, susietą su 30kHz dažnio ir 250 fs trukmės šviesos impulsus generuojančiu lazeriu Pharos (žadinimo šviesos bangos ilgis 355 nm, zondavimo 1030 nm). Rezultatų analizę ir jų interpretaciją papildėme skaitmeninio modeliavimo rezultatais. Naudodami šį metodą ir papildomus skaičiavimus nustatėme p-tipo GaN sluoksniuose nepusiausvirųjų krūvininkų gyvavimo trukmę, difuzijos koeficientą, difuzijos kelio ilgį, ir nepagrindinių krūvininkų - tamsinę skylių koncentraciją.

Apibendrinę technologinių ir fizikinių eksperimentų rezultatus mes parodome, kad naudodami In surfaktantą p-tipo GaN sluoksnio auginimo metu galime padidinti tamsinę skylių koncentraciją keletą kartų, šiuo atveju nuo 4,5×10¹⁶ cm⁻³ iki 1,2×10¹⁷ cm⁻³. Stipriai padidėjusi ambipolinės difuzijos koeficiento vertė (1 pav.) rodo, kad krūvininkų judris taip pat išauga. Krūvininkų gyvavimo laikas padidėja nuo 0,17 ns iki 0,22 ns. Tokiu būdu krūvininkų difuzijos nuotolis p-tipo GaN sluoksnyje padidėja net 4 kartus, jeigu sluoksnio auginimo metu yra naudojamas In surfaktantas.



1 pav. Ambipolinės difuzijos koeficiento vertės priklausomybė nuo In metaloorganikos srauto reaktoriuje p-tipo GaN sluoksnio auginimo metu.

Reikšminiai žodžiai: MOVPE, GaN, p-tipas, dinaminės difrakcinės gardelės, krūvininkų dinamika.

Literatūra

- [1] H. Amano, M. Kito, K. Hiramatsu, and I. Akasaki, Jpn. J. Appl. Phys. 28, L2112 (1989).
- [2] S. Nakamura, N. Iwasa, M. Senoh, and T. Mukai, Jpn. J. Appl. Phys., 31, 1258 (1992).