

# Nuotolinė GaN epitaksija per grafeną

## Remote epitaxy of GaN via graphene

K. Badokas<sup>1</sup>, D. Augulis<sup>1</sup>, A. Kadys<sup>1</sup>, J. Mickevičius<sup>1</sup>, E. Radiunas<sup>1</sup>, M. Skapas<sup>2</sup>, S. Stanionytė<sup>2</sup>, I. Ignatjev<sup>2</sup>,  
B. Šebeka<sup>2</sup>, M. Skapas<sup>2</sup>, G. Juška<sup>1</sup> and T. Malinauskas<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Vilniaus Universitetas, Fizikos Fakultetas, Saulėtekio al. 3, 10257, Vilnius

<sup>2</sup>Fizinių ir technologijos mokslų centras, Saulėtekio al. 3, 10257, Vilnius

[tadas.malinauskas@ff.vu.lt](mailto:tadas.malinauskas@ff.vu.lt)

III grupės nitridai yra perspektyvios medžiagos kuriant naujos kartos elektronikos ir fotonikos komponentus. Daug pastangų buvo dedama optimizuojant III-grupės nitridų heteroepitaksijos procesą daugelį metų. Tačiau būdingas kristalo gardelių nesutapimas ir šiluminio plėtimosi koeficientų skirtumai tarp nitridų ir epitaksijai skirtų padėklų vis dar stipriai riboja auginamo kristalo kokybę.

Galio nitrido (GaN) nuotolinė epitaksija per grafeną neseniai sulaukė didelio dėmesio kaip naujas augimo būdas, leidžiantis po auginimo lengvai nulupti pavienį sluoksnį ar sudėtingą prietaiso struktūros membraną.

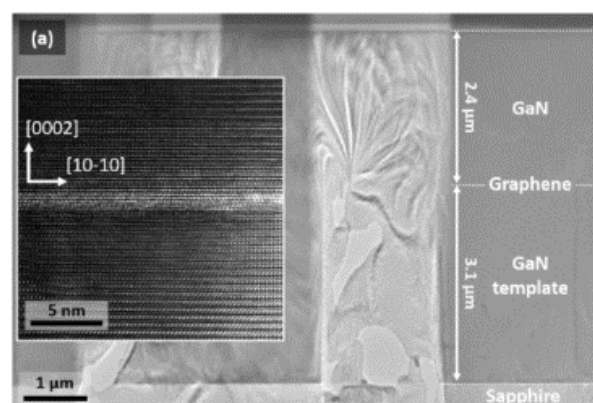
Nuotolinės epitaksijos esmė – monokristalinio sluoksnio homo- arba heteroepitaksiją ant van der Waals paviršių turinčios 2D medžiagos, kuri yra skaidri po ja esančio padėklo elektrocheminam potencialui, įtakojančiam epitaksijos procesą nesuformuojant cheminių jungčių su epitaksiniu sluoksniu. Toks būdas įgalina nulupti plonas, lankščias membranas užaugintas ant kieto, dažnai šilumai nelaidaus, kelių šimtų mikrometrų storio padėklo. Prietaisai pagaminti iš tokių membranų gali būti sėkmingai panaudoti opto- ir bioelektronikoje, interaktyviuose paviršiuose, naujos kartos didelės galios ir dažnio elektronikoje, regimajai šviesai skaidrioje elektronikoje. Atsiranda galimybė integruoti skirtingomis sąlygomis auginamas ir skirtingas funkcijas atliekančias struktūras į daugiavertinius hibridinius prietaisus, tokius kaip funkcionalizuotos mikroschemos (*lab-on-chip*).

Bet tai kol kas nauja technologija, reikalingi išsamūs tyrimai norint visiškai suprasti III-grupės nitridų auginimą ant van der Waals paviršių turinčių 2D medžiagų, kad būtų galima sėkmingai išnaudoti visą nuotolinės epitaksijos potencialą.

Šiame darbe pateikiame GaN epitaksijos monokristalinių sluoksnių augimą naudojant GaN/safyro ruošinį, padengtą grafenu. GaN ruošinius ant safyro ir GaN tiriamuosius sluoksnius ant grafeno užauginame naudodami epitaksijos iš metaloorganinių garų fazės (MOVPE) reaktorių. Pademonstravome vieno ir kelių žingsnių GaN sėklų formavimo ant grafeno paviršiaus ir ištinimo sluoksnio koalescencijos procesus skirtingose temperatūrose, ypatingą dėmesį skirdami grafeno ir GaN paviršių ties jų sandūra tyrimams [1]. Išanalizavome GaN sėklų susidarymo ant grafeno procesą nuotolinės epitaksijos metu. Darbe išdėstome GaN epitaksinio sluoksnio auginamo per grafeną ant GaN/safyro ruošinio

kristalinės kokybės gerinimui modifikuojant auginimo parametrus skirtas įžvalgas.

Ištyrėme ant GaN ruošinio uždėtų pavienio grafeno ir skirtingai suformuotų kelių grafeno sluoksnių įtaką GaN sėklų formavimo ir koalescencijos procesams jų paviršiuje bei pilnai užauginto GaN sluoksnio kristalinei kokybei [2]. Grafeno pavienius sluoksnius bei skirtingai suformuotus dvigubus ir trigubus grafeno sluoksnius uždėjome ant GaN/safyro ruošinio naudodami drėgno perkėlimo metodą. Grafeno sluoksnių kokybę prieš ir po auginimo tyrėme Raman spektroskopijos metodu. Pavienio ir daugiasluoksnio grafeno įtaką GaN sėklų nukleacijai išanalizavome naudodami skenuojantį elektronų mikroskopą. Grafeno ir GaN epitaksinio sluoksnio sankirtos bei GaN sluoksnių struktūrinius tyrimus atlikome naudodami prašviečiantį elektronų mikroskopą ir Rentgeno spindulių difrakcijos sistemą, o sluoksnių paviršių tyrėme atominės jėgos mikroskopu. Pademonstravome sėkmingą GaN membranos eksfoliaciją.



1 pav. Nuotolinės epitaksijos būdu užauginto GaN sluoksnio per grafeną ant GaN ruošinio TEM nuotrauka. Intarpe pateikta GaN/grafenas/GaN sąlyčio zona.

*Reikšminiai žodžiai: nuotolinė epitaksija, GaN, grafenas, MOCVD*

### Literatūra

- [1] K. Badokas, A. Kadys, J. Mickevičius, I. Ignatjev, M. Skapas, S. Stanionytė, E. Radiunas, G. Juška, T. Malinauskas, *J. Phys. D: Appl. Phys.* 54 205103 (2021).
- [2] K. Badokas, A. Kadys, D. Augulis, J. Mickevičius, I. Ignatjev, M. Skapas, B. Šebeka, G. Juška and T. Malinauskas, *Nanomaterials* 12, 785 (2022).