

Tiesioginė grafeno sintezė ant SiO₂ mikrobange plazma aktyvuoto cheminio nusodinimo iš garų fazės būdu ir taikymas lauko tranzistoriams

Direct graphene synthesis on SiO₂ by microwave plasma enhanced chemical vapor deposition for field-effect transistor applications

Šarūnas Meškiniš, Andrius Vasiliauskas, Asta Guobienė, Lukas Kamarauskas, Šarūnas Jankauskas, Rimantas Gudaitis
Kauno technologijos universitetas, Medžiagų mokslo institutas, Baršausko 59, LT-51423 Kaunas

Žymiausia 2D nanomedžiaga, grafenas, pasižymi milžiniškais elektronų ir skylių judriais (iki 350 000 cm² V⁻¹ s⁻¹), galimybe legiruoti elektriniu lauku, lankstumu, skaidrumu, cheminiu inertiškumu [1]. Todėl greta daugelio kitų galimų taikymų, atliekami gausūs tyrimai kurių tikslas yra panaudoti grafeną įvairių itin sparčių elektroninių prietaisų gamybai [1]. Čia svarbų vaidmenį atlieka lauko tranzistoriai su grafeniniu kanalu [2]. Tokie prietaisai gali būti sėkmingai panaudoti ir įvairių dujų jutiklių bei biojutiklių gamybai. [3,4]

Paprastai grafenas auginamas cheminio nusodinimo iš garų fazės būdu ant katalizinės (Cu ar Ni) folijos arba ekstrafolijuojamas [5]. Toliau vykdomas ilgas grafeno pernešimo ant puslaidininkio ar dielektriko paviršiaus procesas [5]. Tuo metu grafenas gali būti užterštas įvairiais adsorbatais, jame atsiranda raukšlės [6]. Be to, ši technologija nesuderinama su puslaidininkinių prietaisų gamybos technologine seka.

Neseniai parodyta, kad grafeno sluoksnį galima tiesiogiai užauginti ant dielektrinių arba puslaidininkinių pagrindu, naudojant plazma aktyvuotą cheminį nusodinimą iš garų fazės [3,7]. Tačiau kol kas šios technologijos yra užuomazgoje.

Šiame darbe grafeno sluoksniai buvo tiesiogiai sintezuoti ant SiO₂ plėvelių, terminio oksidavimo būdu užaugintų ant Si(100) pagrindų, nenaudojant jokių katalizinių medžiagų. Sintzei naudotas mikrobange plazma aktyvuotas cheminis nusodinimo iš garų fazės.

Grafeno struktūra tirta vieno bangos ilgio (532 nm) Raman'o sklaidos spektroskopijos būdu. Grafeno morfologija tirta atominių jėgų mikroskopijos būdu ir skenuojančiu elektronu mikroskopu. Buvo pagaminto tiesiogiai sintezuoto grafeno lauko tranzistoriai. Ištirtos šių tranzistorių elektrinės charakteristikos, įvertintas grafeno judris.

Buvo nagrinėjama auginimo sąlygų (temperatūros, metano ir vandenilio srautų santykio, slėgio, plazmos galios ir sintezės proceso trukmės) įtaka grafeno struktūrai. Nustatyta, kad keičiant šiuos technologinius parametrus galima valdyti grafeno sluoksnių skaičių ir defektų kiekį grafene.

Ištirti grafeno lauko tranzistoriai su SiO₂ užtūros dielektriku ir grafeno lauko tranzistoriai su skysta (vandens) užtūra. Pirmuoju atveju santako ir ištako srovė monotoniškai priklausė nuo užtūros įtampos ir nepavyko nustatyti Dirac'o įtampos. Antruoju atveju, Dirac'o įtampa buvo 0.9-1.1 V. Ištyrus grafeno sintezės sąlygų įtaką grafeno judriui nustatyta, kad grafeno judris didėja ilgėjant grafeno sintezės procesui. Tuo tarpu nuo temperatūros, vandenilio ir metano srautų santykio,

galios ir slėgio grafeno judris priklausė nemonotoniškai. Išnagrinėjus grafeno struktūros įtaką krūvininkų judriui nustatyta, kad krūvininkų judris didėja mažėjant grafeno sluoksnių skaičiui. Tačiau grafeno judris kartu didėjo mažėjant grafeno varžai. Tai prieštarautų prieš tai minėtai tendencijai. Todėl galima daryti prielaidą, kad mūsų atveju ištisinis grafeno sluoksnis susiformavo tik pakankamai ilgai auginant grafeną. Krūvininkų judris nepriklausė nuo defektų tankio grafene. Tačiau pastebėta tendencija, kad judris mažėja G smailės padėčiai slenkantis į didesnių bangos skaičių pusę ir didėja 2D smailės padėčiai slenkantis į didesnių bangos skaičių pusę. Tai rodytų, kad tiesiogiai sintezuotame grafene krūvininkų judris priklauso nuo grafeno savaiminio legiravimo lygio.

Apebendrinant, ištyrus tiesiogiai ant SiO₂ sintezuoto grafeno struktūrą ir grafeno lauko tranzistorių charakteristikas bei elektrines savybes nustatyta, kad grafeno judrį galima padidinti parinkus tinkamas sintezės sąlygas. Parodytas ryšys tarp grafeno struktūros ir krūvininkų judrio grafene. Grafeno savaiminio legiravimo procesai turėjo didesnę įtaką krūvininkų judriui grafene nei grafeno defektų tankis.

Reikšminiai žodžiai: tiesioginė grafeno sintezė, mikrobange plazma aktyvuotas cheminis nusodinimas iš garų fazės, Raman'o sklaidos spektroskopija, grafeno lauko tranzistoriai.

Literatūra

- [1] L. Banszerus, M. Schmitz, S. Engels et al. Ultrahigh-mobility graphene devices from chemical vapor deposition on reusable copper. *Science Advances* 1, 2015, e1500222.
- [2] B. Vamsi Krsihna, S. Ravi, M. Durga Prakash, Recent developments in graphene based field effect transistors, *Materials Today: Proceedings*, 2021, 45, 1524-1528.
- [3] Meškiniš, Š.; Gudaitis, R.; Vasiliauskas, A.; Guobienė, A.; Jankauskas, Š.; Stankevič, V.; Keršulis, S.; Stirkė, A.; Andriukonis, E.; Melo, W.; et al. Biosensor Based on Graphene Directly Grown by MW-PECVD for Detection of COVID-19 Spike (S) Protein and Its Entry Receptor ACE2. *Nanomaterials* 2023, 13, 2373.
- [4] P. Bhattacharyya. Fabrication Strategies and Measurement Techniques for Performance Improvement of Graphene/Graphene Derivative Based FET Gas Sensor Devices: A Review, *IEEE Sensors Journal*, 2021, 21, 10231-10240.
- [5] Yi Zhang et. al. Review of Chemical Vapor Deposition of Graphene and Related Applications, *Acc. Chem. Res.*, 2013, 46 (10), pp 2329-2339.
- [6] S. J. Haigh et al. Cross-sectional imaging of individual layers and buried interfaces of graphene-based heterostructures and superlattices. *Nature Materials* 11, 2012, 764-767.
- [7] Š. Meškiniš, A. Vasiliauskas, A. Guobienė, M. Talaikis, G. Niaura, R. Gudaitis. The direct growth of planar and vertical graphene on Si(100) via microwave plasma chemical vapor deposition: synthesis conditions effects. *RSC Adv.*, 2022, 12, 18759-18772.