

Tiesioginė grafeno/Si(100) heterodarinių sintezė, tyrimas ir taikymas saulės elementams

Direct synthesis of the graphene/Si(100) heterojunctions: study and application for solar cells

Šarūnas Meškiniš, Rimantas Gudaitis, Andrius Vasiliauskas, Šarūnas Jankauskas, Asta Tamulevičienė
Kauno technologijos universitetas, Medžiagų mokslo institutas, Baršausko 59, Kaunas
sarunas.meskinis@ktu.lt

Žymiausia 2D nanomedžiaga, grafenas, pasižymi milžiniškais elektronų ir skylių judrais (iki $350\,000\text{ cm}^2\text{ V}^{-1}\text{ s}^{-1}$), krūvininkų dauginimu, topologinės energijos juostų inžinerijos ir kvantinės interferencijos galimybė, lankstumu, skaidrumu, cheminiu inertiškumu [1]. Tarp gausybės galimų taikymų grafenas bandomas naudoti ir įvairių itin sparčių elektroninių prietaisų [1] bei saulės elementų [2] gamybai.

Paprastai grafenas auginamas cheminio nusodinimo iš garų fazės būdu ant katalizinės (Cu ar Ni) folijos arba ekstrasfolijuojamas [3]. Toliau vykdomas ilgas grafeno pernešimo ant puslaidininkio ar dielektriko paviršiaus procesas [3]. Tuo metu grafenas gali būti užterštas įvairiais adsorbatais, jame atsiranda raukšlės [4]. Kitaip tariant, tai komplikauta technologija, gerokai apsunkinant grafeno/puslaidininkio (dielektriko) tarpinio kontakto savybių kontrolę ir galimybę pagaminti reikiamų darbinių charakteristikų puslaidininkinį prietaisą. Be to, ši technologija nesuderinama su puslaidininkinių prietaisų gamybos technologine seka.

Neseniai parodyta, kad grafeno sluoksnį galima tiesiogiai užauginti ant dielektrinių arba puslaidininkinių pagrindų, naudojant plazma aktyvuotą cheminį nusodinimą iš garų fazės [5-7]. Tačiau kol kas šios technologijos yra užuomazgoje.

Šiame darbe grafeno sluoksniai buvo tiesiogiai sintezuoti dviem būdais ant Si(100) pagrindų, nenaudojant jokių katalizinių medžiagų. Pirmasis naudotas būdas buvo mikrobange plazma aktyvuotas cheminis nusodinimo iš garų fazės būdu ant monokristalinio. Antrasis auginimo būdas buvo fizinio nusodinimo iš garų fazės tipo – grafenas sintezuotas indukcinės plazmos (ICP) pluoštelio šaltiniu COPRA.

Grafeno struktūra tirta vieno bangos ilgio (532 nm) Raman'o sklaidos spektroskopijos būdu. Grafeno morfologija tirta atominių jėgų mikroskopijos būdu ir skenuojančiu elektroniniu mikroskopu. Buvo pagaminto tiesiogiai sintezuoto grafeno bei Si(100) Šotkio diodai. Iširtos šių diodų elektrinės ir fotovoltinės savybės.

Buvo nagrinėjama auginimo sąlygų (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. Parodyta, kad naudojant aukštesnę sintezės temperatūrą ir plazmos galią auga vertikalūs grafenas, o žemesnė sintezės temperatūra bei galia skatina planarinio grafeno auginimą. Vertikalus grafeno augimas susietas su terminiu įtempių relaksacija.

ICP plazmos pluoštelio šaltiniu, naudojant auginimą pro kaukę, grafenas tiesiogiai sintezuotas ant parinktų Si

pagrindo vietų. Keičiant auginimo sąlygas buvo sintezuotas tiek hidrogenizuotas tiek ir „paprastas“ grafenas.

Ištirus grafeno/Si(100) Šotkio diodų voltamperines charakteristikas pastebėta, kad, priklausomai nuo grafeno sintezės sąlygų, gali būti suformuoti tiek kvaziominiai kontaktai, tiek Šotkio kontaktai. Nustatyta, kad grafeno ir Si(100) Šotkio diodų fotovoltinės savybės nepriklauso nuo grafeno struktūros. Tačiau pastebėta Si(100) pagrindo pradinio paruošimo ir grafeno morfologijos įtaka.

Padėka. Projektas Nr. 09.3.3-LMT-K-712-01-0183 finansuojamas Europos socialinio fondo pagal priemonę „Mokslininkų kvalifikacijos tobulinimas vykdant aukšto lygio MTEP projektus“, administruojamą Lietuvos mokslo tarybos.

Reikšminiai žodžiai: tiesioginė grafeno sintezė, mikrobange plazma aktyvuotas cheminis nusodinimas iš garų fazės, grafeno/silicio diodai, Raman'o sklaidos spektroskopija, fotovoltinės savybės.

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] T. Mahmoudi, Yousheng Wang, Yoon-Bong Hahn. Graphene and its derivatives for solar cells application. *Nano Energy* 47, 2018, 51-65.
- [3] Yi Zhang et. al. Review of Chemical Vapor Deposition of Graphene and Related Applications, *Acc. Chem. Res.*, 2013, 46 (10), pp 2329–2339.
- [4] 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.
- [5] A. Khan et al. Direct CVD Growth of Graphene on Technologically Important Dielectric and Semiconducting Substrates. *Advanced Science* 5 (2018) Art. No 1800050.
- [6] R. Gudaitis, A. Lazauskas, Š. Jankauskas, Š. Meškiniš. Catalyst-less and transfer-less synthesis of graphene on Si(100) using direct microwave plasma enhanced chemical vapor deposition and protective enclosures. *Materials* 13 (2020) 1996-1944.
- [7] Š. Meškiniš, R. Gudaitis, A. Vasiliauskas, S. Tamulevičius, G. Niaura. Multiwavelength Raman scattering spectroscopy study of graphene synthesized on Si(100) and SiO₂ by microwave plasma-enhanced chemical vapor deposition. *Physica status solidi - rapid research letters: Special issue: Two-dimensional semiconductors* 14 (2020), art. no.1900462, p. 1-5.