

# Mikrobangų plazma aktyvuoto cheminio nusodinimo iš garų fazės būdu suformuotų grafeno/n-tipo Si(100) prietaisų fotovoltinės savybės

## Photovoltaic properties of directly synthesized graphene/n-Si(100) devices using microwave plasma-enhanced chemical vapor deposition technique

Šarūnas Jankauskas<sup>1</sup>, Rimantas Gudaitis<sup>1</sup>, Andrius Vasiliauskas<sup>1</sup>, Asta Guobienė<sup>1</sup>, Šarūnas Meškinis<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kauno technologijos universitetas, Medžiagų mokslo institutas, K. Baršausko g. 59, LT-51423 Kaunas  
[sarunas.jankauskas@ktu.lt](mailto:sarunas.jankauskas@ktu.lt)

Grafenas, viena iš 2D nanomedžiagų, pasižyminti išskirtinėmis mechaninėmis, šiluminėmis, elektrinėmis bei optinėmis savybėmis, kurios puikiai dera itin sparčioje elektronikoje, diodų bei tranzistorių technologijose bei saulės elementuose [1]. Būtent fotovoltaike, grafenas galėtų pakeisti metalus, siekiant formuoti Šotkio kontaktus, derinant šią medžiagą su puslaidininkiais, kaip antai, siliciu. Šiuo metu, didžiausias grafeno/silicio saulės elementų galios konversijos efektyvumas siekia 16,61% [2], o tai rodo didelę šios konfigūracijos fotovoltinių prietaisų perspektyvą. Vis dėlto, nepaisant išvardintų ypatybių, grafeno taikymas įvairiose srityse, įskaitant ir grafeno/silicio saulės elementų technologijas yra genėtinais ribotas, dėl komplikuočių medžiagos formavimo galimybių.

Šiuo metu, plačiausiai paplitęs grafeno auginimo metodas, tai cheminio nusodinimo iš garų fazės metodas. Formuojant grafeną šiuo būdu naudojami kataliziniai pagrindai (Cu ar Ni), ant kurių vyksta pirminis grafeno nusodinimas. Toliau struktūra yra pernešama nuo šių pagrindų ant reikiamų paviršių, įskaitant silicį. Tokiu būdu grafenas yra užteršiamas organiniais adsorbatais, struktūra ima raukšlėti [3]. Toks sudėtingas pernešimo procesas, neigiamai veikia grafeno/silicio sandūrą bei apsunkina įrenginio savybių valdymą [4].

Siekiant pašalinti pernešimo trūkumus, grafenas gali būti auginamas tiesiogiai ant dielektrinių ar puslaidininkinių pagrindų, nenaudojant katalizinių vario ar nikelio folijų [5]. Tokia grafeno sintezė įmanoma plazma aktyvuoto cheminio nusodinimo iš garų fazės būdu.

Šiame darbe suformuoti grafeno/Si(100) fotovoltiniai prietaisai, naudojant mikrobangų plazma aktyvuoto cheminio nusodinimo iš garų fazės sistemą (IPLAS Innovative Plasma Systems GmbH). Grafeno auginimui naudotas vandenilio bei metano dujų mišinys. Tinkamam prietaiso veikimui, buvo suformuoti Cr/Cu kontaktai grafeno pusėje, bei aliuminio kontaktas silicio pusėje. Taip pat formuotas ir dvisluoksnis grafenas, bei grafenas ant tekstūruoto silicio, siekiant išsiaiškinti paviršiaus konfigūracijos ir geometrijos įtaką fotovoltinėms savybėms.

Grafeno struktūra tirta Ramano sklaidos spektroskopija (Renishaw inVia system) naudojant 532 nm lazerį bei atominių jėgų mikroskopija ir Kelvino zondo mikroskopija (JPK Instruments, Bruker Nano GmbH, Berlynas, Vokietija). Taip pat tirtos ir fotovoltinės suformuotų saulės elementų savybės.

Tyrime nagrinėta fotovoltinių savybių priklausomybė nuo grafeno struktūros. Nustatyta, kad natūraliai susiformavęs SiO<sub>2</sub> pasluoksnis lemia grafeno n-tipo savilegiravimą, o tai neigiamai veikia atbulinę srovę ir trumpojo jungimo srovę ( $I_{ts}$ ). Visais atvejais, grafeno išlaisvinimo darbas buvo panašus (4.820 – 4.826 eV). Paviršiaus morfologijos bei defektų įtaka elektrinėms bei fotovoltinėms savybėms neaptikta.

Ištyrus grafeno/n-Si(100) darinių voltamperines charakteristikas nustatyta, kad padidinta grafeno sintezės temperatūra (800 arba 900 °C), suderinta su 0.7 kW plazmos galia skatina ominių grafeno/n-Si kontaktų susidarymą. Taip pat nustatyta, kad dvisluoksnio legiruoto grafeno/n-Si(100) heterosandūrų atviros grandinės įtampa ir trumpo jungimo srovė gali būti didesnė nei vienasluoksnio nelegiruoto grafeno/n-Si(100) heterosandūros.

Atlikus grafeno tiesioginės sintezės ant tekstūruoto silicio paviršiaus bandymus nustatyta, kad po proceso optimizavimo grafeno/tekstūruoto silicio heterosandūros trumpo jungimo įtampa gali tapti sulaukinama su geriausių grafeno/plokščio Si(100) bandinių atviros grandinės įtampa. Tačiau trumpojo jungimo srovė lieka ženkliai mažesnė.

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: grafenas, fotovoltaika, tiesioginė sintezė.*

### Literatūra

- [1] E. P. Randviir et al, Mater Today, **17**(9) p. 426-432 (2014).
- [2] D.H. Shin et al, J Alloy Compd, **773**, 913–918, (2019).
- [3] S. J. Haigh et al, Nat Mater **11**, p. 764–767 (2012).
- [4] Š. Jankauskas et al, Nanomaterials, **12**, 1640, (2022).
- [5] A. Khan et al, Adv Sci, **5**, 1800050 (2018).