



FIZINIŲ IR
TECHNOLOGIJOS MOKSLŲ
CENTRAS

2017



DOKTORANTŲ IR JAUNŲJŲ MOKSLININKŲ KONFERENCIJA

spalio 24-25 d.

KONFERENCIJOS TEZĖS

Elena Adomaitienė. Susietųjų FitzHugh-Nagumo osciliatorių pusiausvyros būsenų stabilizavimas.

Evelina Pozingytė. Atkaitintų GaAsBi/AlAs kvantinių duobių fotoluminescencijos tyrimas.

Ieva Beleckaitė. Lazeriu graviruotų periodinių paviršinių struktūrų ant GaAs padėklų tyrimas THz impulsų emisijos metodais.

Mažena Mackoīt Sinkevičienė. Taškiniai defektai ir jų kompleksai h-BN.

Vidmantas Jašinskas. Krūvininkų generacija, pernaša ir rekombinacija puslaidininkiniame anglies nanovamzdelių tinkle.

Vytautas Janonis. Fononų-plazmonų modos AlGaIn/GaN bei AlGaIn/GaN/SiC struktūrose su periodine metaline gardele.

Rokas Naujalis. Netaisyklingoji nykštukinė galaktika Leo A.

Domas Jokubauskis. Paslėptų mažos sugerties objektų aptikimas naudojant terahercinę spinduliuotę.

Augustinas Fedaravičius. Neuronų sinchronizacija krūvių optimalia signalo forma.

Algimantas Kostas Sabulis. Grįžtamojo ryšio algoritmo įdiegimas programoje Gadget-3.

Martynas Skapas. Fazinė ir elementinė nanodarinių analizė peršviečiamuoju elektronu mikroskopu.

Virginija Skurkytė Papievienė. Bioskaidžių fazę keičiančių medžiagų (PCM) mikrokapsulių tekstilei kūrimas ir savybių tyrimai.

Lina Grinevičiūtė. Optinių elementų formavimas nano-skulptūrinių dangų pagrindu.

Sandra Stanionytė. Storų GaInAsBi sluoksnių tyrimai ir taikymai.

Audrius Valavičius. Plonų metalinių ir dielektrinių sluoksnių panaudojimas optinėms dangoms formuoti.

Mindaugas Kamarauskas. Mikro ir nano struktūrų formavimas metalu inicijuotu ęsdinimu.

Andrius Sakavičius. Grafeno kontaktų paviršiaus tyrimas.

Jonas Klimantavičius. Manganitų sluoksnių jutikliai magnetinio suvirinimo monitoringui.

Karolis Ratautas. Lazerio talkinamas selektyvus metalų nusodinimas ant polimerinių paviršių.

Elena Lagzdina. Specifinio ^{14}C aktyvumo vertinimas apšvitintame reaktoriaus grafite.

Laima Kazakevičiūtė. ^{137}Cs ir plutonio izotopų aktyvumo koncentracijų pasiskirstymas įvairiose gamtinėse terpėse.

Zita Žukauskaitė. Biosorbentų metodo taikymas tiriant ^{137}Cs ir plutonio izotopų koncentracijas gėlo vandens sistemose.

Julija Pauraitė. Temperatūrinio medžių streso tyrimas aerozolio masių spektrometrijos metodu.

Lina Gaigalaitė. TDCR metodo taikymai radionuklidų aktyvumui matuoti.

Vladimir Abdulajev. Technogeninių radionuklidų nustatymas branduolinio reaktoriaus grafito mažo tūrio mėginiuose.

Toma Petrulionienė. Specifinės migracijos iš polipropileno tyrimas, naudojant dujų chromatografiją.

Daina Upskuvienė. Au nanodalelių, nusodintų ant anglies paviršiaus naudojant skirtingus nusodinimo metodus, elektrokatalizinio aktyvumo palyginimas.

Edita Zubrytė. Metalų kompleksinio dažiklio šalinimas iš vandeninių tirpalų geležies(III) oksidu/hidroksidu.

Monika Kirsnytė. Laidaus polimerinio sluoksnio tyrimas ir taikymas išmaniai tekstilei.

Rokas Žalnėravičius. Superparamagnetinių kobalto ferito nanodalelių sintezė, charakterizavimas ir antimikrobinų savybių tyrimas.

Audrius Drabavičius. Kesterito pirmtako sluoksnių formavimas naudojant pratekančią elektrocheminę celę.

Tadas Matijošius. Aliuminio lydinių anodavimas sieros ir fosforo rūgštyse bei dangų savybių palyginimas.

Agnė Mikalauskaitė. Superparamagnetinių kobalto ferito nanodalelių paviršiaus funkcionalizavimo metioninu tyrimas.

Teofilis Kilmonis. Metanolio ir etanolio oksidacijos ant nanostruktūrizuotų Pt(W)/GR katalizatorių tyrimas.

Aušrinė Zabelaitė. NaBH₄ oksidacijos tyrimas ant Pt dalelėmis modifikuoto kobalto elektrodo.

Karolis Petrauskas. Cheminių ryšių skilimas ir susidarymas mechanocheminio gumos perdirbimo metu.

Juozas Dudutis. Spartus silikatinio stiklo pjovimo metodas panaudojant eksikonu suformuotą asimetrinę beselio pavidalo pluoštą.

Vytautas Mačaitis. Daugiakontūrinių SVG ir JVG projektavimas 65nm KMOP technologijoje.

Gediminas Žukauskas. Daiktų interneto tyrimams skirta platforma IoTbee.

Vidmantas Tomkus. Lazerinio lauko elektronų greitintuvo plazminių profilių formavimas viršgarsinių mikrotūtų pagalba

Paulius Mackonis. Dviejų pakopų čirpuotų lazerio impulsų Yb:YAG stiprintuvas skirtas OPCPA kaupimui.

Maksimas Anbinderis. Šviesos įtaka heterosandūrinių diodų detekcinėms savybėms.

SUSIETŲJŲ FITZHUGH–NAGUMO OSCILIATORIŲ PUSIAUSVYROS BŪSENŲ STABILIZAVIMAS

Elena Adomaitienė

Fizinių ir technologijos mokslų centras, Elektronikos skyrius
Saulėtekio al. 3, LT-10257 Vilnius, el. p.: elena.tamaseviciute@ftmc.lt

FitzHugh–Nagumo (FHN) osciliatoriai imituoja pulsuojančių neuronų dinamiką. Jeigu osciliatoriai yra tarpusavyje stipriai susieti, gali įvykti jų sinchronizacija [1], realiose neuronų sistemose sukelianti nepageidaujamus reiškinius, pvz., Parkinsono ligos simptomus. Osciliatorių sinchronizacijos galima išvengti, arba juos dirbtinai desinchronizuojant grįžtamaisiais ryšiais [2], arba stabilizuojant jų nestabilios pusiausvyros būsenas aukšto dažnio išorine periodine srove [3].

Šiame pranešime pateikiamas kitas FHN osciliatorių pusiausvyros būsenų stabilizavimo metodas, pasitelkiant stabilų RC filtrą (1 pav.). Vidutiniu lauku susietų osciliatorių masyvas (be stabilizuojančio kondensatoriaus; formaliai $C_0=0$) aprašomas tokiomis $2N$ lygtimis:

$$\begin{aligned} x_i &= ax_i - f(x_i) - y_i - c_i + k(\langle x \rangle - x_i), \\ y_i &= x_i - by_i, \quad i=1, 2, \dots, N. \end{aligned} \quad (1)$$

Čia $\langle x \rangle$ – kintamųjų x_i vidurkis:

$$\langle x \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i.$$

Netiesinė f-ją $f(x)$ sudaryta iš trijų tiesių atkarpų: $f(x < -1) = d(x+1)$, $f(-1 \leq x \leq 1) = 0$, $f(x > 1) = g(x-1)$, k – susiejimo (ryšio) parametras. Kai $ab < 1$, $|c_i| < 1/b-a$, izoliuotų osciliatorių ($k=0$) pusiausvyros būsenos:

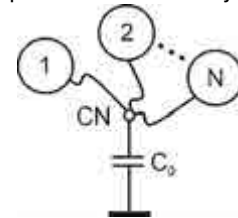
$$x_{0i} = -bc_i / (1-ab), \quad y_{0i} = -c_i / (1-ab). \quad (2)$$

Tiesinė analizė rodo, kad šios $i=1, 2, \dots, N$ būsenos yra nestabilios, jei $a > b$. Tai sukelia būdingus neuroninius impulsus. Nestabilumas išlieka ir atsiradus tarpusavio sąveikai ($k \neq 0$).

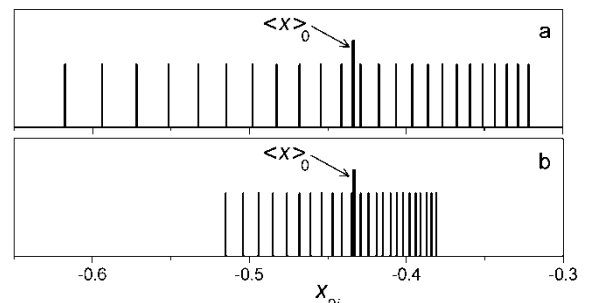
Sistema su papildomu RC filtru aprašoma $2N+1$ lygtimis:

$$\begin{aligned} x_i &= ax_i - f(x_i) - y_i - c_i + k(z - x_i), \\ y_i &= x_i - by_i, \quad i=1, 2, \dots, N, \\ z &= \omega_f (\langle x \rangle - z). \end{aligned} \quad (3)$$

Čia $\omega_f \propto 1/R \cdot C_0$ filtro normuotas ribinis dažnis. Tiesinė analizė, atlikta pasitelkus Routh–Hurwitz kriterijų, parodo, kad, kai ryšio parametras k viršija tam tikrą slenkstinę vertę k_{th} , pusiausvyros būsenos stabilizuojasi, tik šiek tiek pakinta jų padėtys (2 pav.). Skaitiniai (3) lygčių sistemos sprendiniai rodo, kad neuroniniai impulsai tokiu atveju išnyksta.



1 pav. Susietieji osciliatoriai 1, 2, ..., N (CN – susiejimo mazgas) ir stabilizuojantis kondensatorius C_0 . RC filtrą sudaro osciliatorių išėjimo varžos R^* ir talpa C_0 .



2 pav. Osciliatorių pusiausvyros būsenų spektrai x_{0i} , $N=24$. $a=3.4$, $b=0.16$, $c_i=44/(24+i)$, $d=60$, $g=3.4$. (a) izoliuoti osciliatoriai ($k=0$) iš (2) formulų, (b) susieti ir stabilizuoti osciliatoriai iš (3) lygčių sistemos, $k=3.4$ ($k_{th}=3.23$), $\omega_f=0.15$.

Literatūra

1. E. Tamaševičiūtė, G. Mykolaitis, and A. Tamaševičius, Nonlinear Analysis: Modelling and Control **17**, 118 (2012).
2. Tamaševičius, E. Tamaševičiūtė, and G. Mykolaitis, Appl. Phys. Lett. **101**, 223703 (2012).
3. E. Adomaitienė, G. Mykolaitis, S. Bumelienė, and A. Tamaševičius, Nonlinear Analysis: Modelling and Control **22**, 421 (2017).

ATKAITINTŲ GaAsBi/AlAs KVANTINIŲ DUOBIŲ FOTOLIUMINESCENCIJOS TYRIMAS

E. Pozingytė¹, R. Butkutė¹, B. Čechavičius¹, S. Stanionytė², M. Skapas², V. Karpus¹, A. Krotkus¹

¹Fizinių ir technologijos mokslų centras, Optoelektronikos skyrius,

²Fizinių ir technologijos mokslų centras, Medžiagų struktūrinės analizės skyrius

Saulėtekio al. 3, LT-10257 Vilnius, el. p.: evelina.pozingyte@ftmc.lt

GaAsBi plačiai tyrinėjami dėl galimybės juos naudoti gaminant ilgabangės optoelektronikos prietaisus t.y. lazerinius diodus [1], terahercinius komponentus [2], ir net saulės elementus [3]. Tačiau, užauginti kokybiškus $\text{GaAs}_{1-x}\text{Bi}_x$, kai $x > 0.05$, sluoksnius vis dar iššūkis, nes struktūros molekulių pluoštelių epitaksijos (MBE) metodu turi būti auginamos santykinai žemose temperatūrose, o tai lemia didelį defektų kiekį. Šie defektai veikia kaip nespindulinės rekombinacijos centrai, kurie mažina fotoluminescencijos (PL) intensyvumą. Standartiškai sluoksnių kokybė yra gerinama atkaitinant juos aukštesnėje nei auginimo temperatūroje. Visgi, atkaitinimo efektas GaAsBi sluoksniams nėra trivialus. Atkaitinus GaAsBi esant temperatūrai $T > 600$ °C, bismutas klasterizuojasi [4].

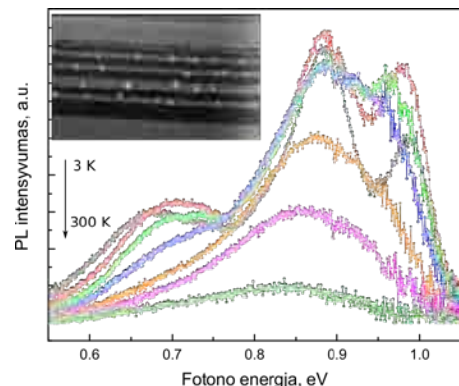
Šiame darbe buvo tirtos kombinuotu MBE ir migraciją skatinančios epitaksijos (MEE) metodu užaugintos GaAsBi/AlAs kvantinių duobių (QWs) struktūros. Buvo tiriami įvairiomis sąlygomis užauginti QWs bandiniai; buvo keičiamas tiek duobių, tiek barjerinių sluoksnių storis ir skaičius. Visos tirtos struktūros po auginimo buvo 3 min kaitinamos 750 °C temperatūroje. GaAsBi/AlAs QWs charakterizavimui buvo pasitelkta aukštos skyros peršviečiamoji elektroninė mikroskopija (HRTEM) ir PL (matavimai atlikti 3–300 K temperatūrų intervale).

Iš struktūrinių HRTEM matavimų akivaizdžiai matyti (žr. interpą 1 pav.), kad bandinių atkaitinimas 750 °C temperatūroje sąlygoja klasterių formavimąsi. TEM elementinės sudėties tyrimas parodė, kad nanokristalitai sudaryti iš gryno bismuto.

Palyginus GaAsBi/AlAs QWs struktūrų PL spektrus prieš ir po atkaitinimo matosi, kad defektų skaičius sumažėjo – PL intensyvumas ženkliai išaugo. Taip pat, žemų fotonų energijų srityje (0.55 – 1.05 eV) atsiranda papildoma PL smailė, kurią susiejome su emisija iš Bi QDs. Atlikti fotoluminescencijos temperatūrinės priklausomybės tyrimai parodė (1 pav.), kad ši PL smailė turi savo vidinę struktūrą – sudaryta iš trijų PL komponentų, kurių padėtys gali būti susijusios su skirtingo diametro Bi QDs.

Atliktas teorinis bismuto energijos spektro įvertinimas parodė, kad dėl dimensinio kvantavimo efektų, mažų diametrų ($d < 17$ nm) Bi kvantiniai taškai iš pusmetalinių virsta puslaidininkiniais turinčiais tiesioginį draustinių energijų tarpą. Skaičiavimų numatomas efektyvus draustinių energijų tarpas 10 nm QDs yra apie 0.76 eV, o tai gana gerai sutampa su eksperimentiškai stebėta papildomos PL smailės padėtimi. Tai patvirtina hipotezę, kad papildomą PL smailę lemia optiniai šuoliai Bi QDs.

Taip pat, labai svarbu paminėti, kad papildomos PL smailės spektrinė padėtis silpnai priklauso nuo temperatūros. Jos Varshni parametrai yra kelis kartus mažesni nei standartiniuose puslaidininkiuose. Tai svarbus ypatumas siekiant nagrinėjamas struktūras pritaikyti optoelektronikoje.



1 pav. Atkaitinto GaAsBi/AlAs QWs bandinio temperatūriniai PL spektrai žemų fotonų energijų srityje (papildoma PL smailė). Intarpas – atkaitinto bandinio HRTEM nuotrauka.

Šis darbas buvo remiamas LMT (Nr. MIP-71/2015, BiNano).

Literatūra

1. X.Wu, W.Pan, Z.Zhang, Y.Li, C. Cao, J.Liu, L.Zhang, Y.Song, H.Ou, S.Wang, ACS Photonics **4**, 1322 (2017).
2. K. Bertulis, A. Krotkus, G. Aleksejenko, V. Pačebutas, R. Adomavičius, G. Molis, S. Marcinkevičius, Appl. Phys. Lett. **88**, 201112 (2006).
3. T.Thomas, A.Mellor, N.P.Hylton, M.Führer, D. Alonso-Álvarez, A.Braun, N.J.Ekins-Daukes, J.P.R.David, S.J.Sweeney, Semicond. Sci. Technol. **30**(9), 094010 (2015).
4. R. Butkutė, K. Stašys, V. Pačebutas, B. Čechavičius, R. Kondrotas, A. Geizutis, A. Krotkus, Opt. Quant. Electron. **47**(4), 873 (2015).

LAZERIŲ GRAVIRUOTŲ PERIODINIŲ PAVIRŠINIŲ STRUKTŪRŲ ANT GaAs PADĖKLŲ TYRIMAS THz IMPULSŲ EMISIJOS METODAIS

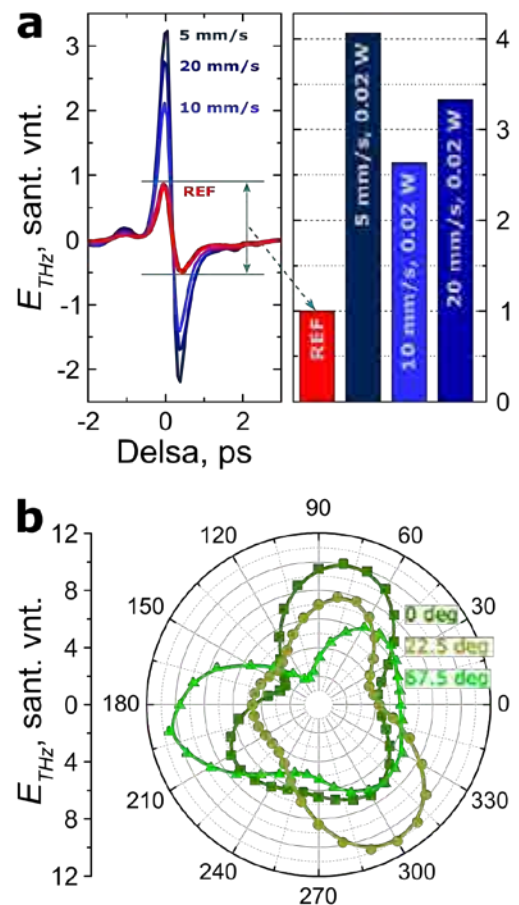
Ieva Beleckaitė, Ramūnas Adomavičius, Arūnas Krotkus, Mindaugas Gedvilas,
Mantas Gaidys ir Gediminas Račiukaitis

Fizinių ir technologijos mokslų centras, Optoelektronikos skyrius
Saulėtekio al. 3, LT-10257 Vilnius, el. p.: ieva.beleckaite@ftmc.lt

Lazeriu graviruotos periodinės, paviršinės struktūros (LIPSS – *laser induced periodic surface structures*) gali būti formuojamos femtosekundinio lazerio impulsais ant įvairiausių medžiagų: puslaidininkių, metalų, stiklų, polimerų ir kt. LIPSS struktūros leidžia smarkiai sumažinti atspindžius nuo puslaidininkių paviršiaus bei padidinti sugertį juose, pastarosios savybės labai naudingos saulės elementų, bei elektromagnetinių bangų jutiklių gamyboje. Graviruoti paviršiai taip pat pasižymi sustiprinta fotoelektrine emisija bei efektyvia plazmonų generacija, kas lemia jų pritaikomumą optoelektronikoje bei plazmonikoje [1]. Po lazerinio nano/mikrostruktūrizavimo medžiagos paviršius gali būti tiek smarkiai hidrofilius, tiek hidrofobinis, tad dėl patrauklių drėkinančių savybių lazeriu graviruotos medžiagos plačiai taikomos optofluidikoje, biomedicinoje, biojutikliuose bei skysčių mikoreaktoriuose [2]. Naudojant LIPSS struktūras kaip padėklus paviršiaus sustiprintoje Ramano sklaidos spektroskopijoje, pasiekiamas stiprinimo faktorius iki $\sim 10^7$ [3]. Nepaisant gausybės LIPSS struktūrų taikymo pavyzdžių, mūsų žiniomis, nebuvo bandymų naudoti šiuos darinius terahercinių (THz) impulsų generacijai.

Šiame darbe nagrinėjama THz impulsų emisija iš LIPSS struktūrų, suformuotų ant trijų skirtingų padėklų: n tipo (100) kristalografinės orientacijos GaAs, savojo laidumo (100) ir (111) kristalografinės orientacijos GaAs. Išmatuoti bandinių emituojami THz impulsai pralaidumo ir kvaziatspindžio geometrijoje (1a pav.). Taip pat atlikti THz impulsų amplitudžių azimutinių priklausomybių matavimai (1b pav.). Nustatyta, kad puslaidininkio paviršių graviruojant lazeriu galima sustiprinti THz impulsų emisiją iš šio paviršiaus, o didesnis sustiprėjimas, daugiau nei 4 kartus, stebimas pralaidumo geometrijoje. Intensyviausia emisija ir labiausiai prognozuojami rezultatai gaunami graviravimą atliekant truputį virš abliacijos slenksčio ($\sim 1 \text{ J/cm}^2$ (mūsų atveju $P = 0.02 \text{ W}$)). Toks THz impulsų emisijos efektyvumo padidėjimas sietinas su paviršiui lygiagrečios elektrinio dipolio komponentės atsiradimu. Šiai komponentei būdinga azimutinė priklausomybė, kuri yra susijusi tiek su

išgraviruotų griovelių kryptimi, tiek su puslaidininkio kristalografine orientacija.



1 pav. (a) THz impulsai išspinduliuoti iš n tipo GaAs (100) kristalografinės orientacijos bandinių. (b) THz impulsų amplitudžių azimutinės priklausomybės trijų tipų savojo laidumo GaAs (111) kristalografinės orientacijos bandiniuose, kuriuose LIPSS struktūros buvo formuojamos skirtingos poliarizacijos šviesa (nurodyta $\lambda/2$ plokštelės pozicija).

Literatūra

1. A.Y. Vorobyev, C. Guo, *Laser Photonics Rev.*, **7**, p. 385, 2013
2. P. Bizi-Bandoki, S. Valette, E. Audouard, S. Benayoun, *Appl. Surf. Sci.*, **27**, p. 399, 2013
3. E.D. Diebold, N.H. Mack, S.K. Doorn, E. Mazur, *Langmuir*, **25**, p. 1790, 2009

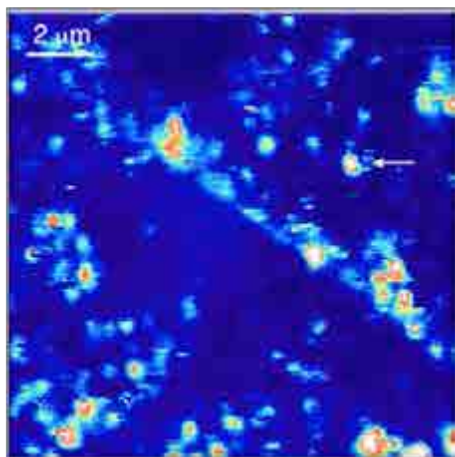
TAŠKINIAI DEFEKTAI IR JŲ KOMPLEKSAI *h*-BN

Mažena Mackoit-Sinkevičienė, Audrius Alkauskas

Fizinių ir technologijos mokslų centras, Fundamentinių tyrimų skyrius
Saulėtekio al. 3, LT-10257 Vilnius, el. p.: mazena.mackoit@ftmc.lt

Heksagoninis boro nitridas (*h*-BN) - sluoksniuota sp^2 hibridizacijos medžiaga. *h*-BN pasižymi puikiu cheminiu ir šiluminiu stabilumu, o dėl gardelės konstantos atitikimo su grafenu, ši medžiaga plačiai naudojama kaip padėklas dvimatei elektronikai. Neseniai parodyta, kad *h*-BN draustinis tarpas siekia ~ 6 eV [1]. Paskutiniai pasiekimai pavienių kristalų, mono- ir mult sluoksnių auginimo technikose prisidėjo prie dar aktyvesnių šios medžiagos tyrimų kaip potencialaus kandidato elektronikos ir optoelektronikos taikymuose.

Paskutiniu metu mokslininkams pavyko stebėti pavienių fotonų emisiją (SPE) *h*-BN kambario sąlygomis. Tran ir kt. nustatė SPE iš spalvinių centrų *h*-BN emituojančių ties ~ 2 eV [2]. Kiti matavimai atskleidė platų spalvinių centrų befononinių linijų (ZPL) ir vibroninių savybių pasiskirstymą. Tokia fluorescencija (FL) stebėta žadinant su 532 nm ir su 405 nm ZPL diapazone nuo 1.6 eV iki 2.25 eV (560 - 775 nm) [3-6].



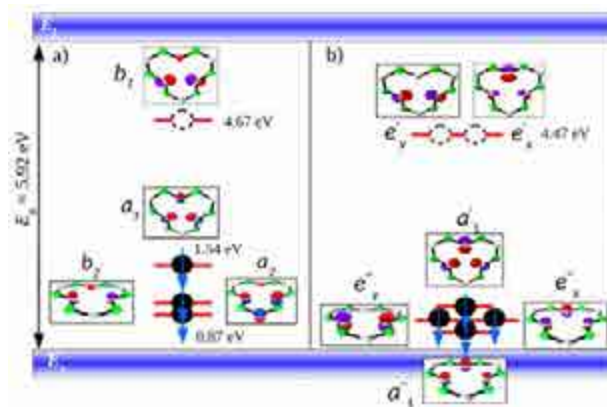
1 pav. Skenuojančios konfokalinės mikroskopijos žemėlapis *h*-BN kristalo [6].

Šiame darbe buvo atlikti skaičiavimai paremti tankio funkcionalo teorija (DFT) boro vakansijoms ir boro vakansijų kompleksams heksagoniniame boro nitride. Parodyta, kad sąveika su deguonimi ženkliai sumažina boro vakansijos formavimosi energiją. Dėl to sistemoje, kurioje esama deguonies, labiau tikėtinas kompleksų susidarymas, negu paprastų boro vakansijų.

Iširta, kad elektroninės defekto būsenos

gali būti σ arba π tipų. Dėl to galime turėti skirtingas pagrindinės ir sužadintos būsenų konfigūracijas. Visų pirma, vidinė luminescencija tarp defekto orbitalių gali būti poliarizuota tiek plokštumoje, tiek statmenai plokštumai. Taip pat šiame darbe pateikiami sužadinimo energijų ir su jomis susijusių Franck-Condon poslinkių įvertinimai, susiejant gautas vertes su naujausiais eksperimentiniais rezultatais. Gautos relaksacijos energijos yra didelės, nes įkrauto ir sužadinto komplekso geometrijos stipriai pakinta.

Įvertinti optiniai ZPL tokiuose defektuose vykty giliai infraraudonoje srityje (1.6 - 1.35 eV), o jų relaksavimo energijos būtų didelės (0.35 - 1.2 eV), todėl jie negali paaiškinti stebimos $E_{ZPL} \approx 2$ eV emisijos. Nors a_2b_1 perėjimas atitiktų ZPL iš pavienių defektų kristaliniame *h*-BN $E_{ZPL} \approx 1.6$ eV [5], jį sugertis turėtų vykti gilioje UV srityje ~ 3.4 eV (kas panašiu į [4]).



2 pav. Elektroninės įkrautų a) V_B-ON^- ir b) V_B^- defektų struktūros.

Literatūra

- [1] G. Cassabois, P. Valvin, B. Gil, Nat. Photonics, 10 262 (2016).
- [2] T.T. Tran, C. Elbadawi, D. Totonjian, et al., ACS Nano, 10 7331, (2016).
- [3] N.R. Jungwirth, B. Calderon, Y. Ji, et al., Nano Lett., 16 6052 (2016).
- [4] Z. Shotan, H. Jayakumar, C. R. Considine, et al., ACS Photonics, 3 12, (2016).
- [5] T.T. Tran, C. Zachreson, A.M. Berhane et al., Phys. Rev. Appl. 5, 034005 (2016).
- [6] L. J. Martinez, T. Pelini, V. Waselowski et al., Phys. Rev. B. 94, 121405 (2016).

KRŪVININKŲ GENERACIJA, PERNAŠA IR REKOMBINACIJA PUSLAIDININKINIAME ANGLIES NANOVAMZDELIŲ TINKLE

Vidmantas Jašinskas¹, Valentas Bertašius¹, Angela Eckstein¹, Imge Namal²,
Tobias Hertel², Vidmantas Gulbinas^{1,3}

¹Fizinių ir technologijos mokslų centras, Molekulinių darinių fizikos skyrius, Saulėtekio al. 3, LT-10257 Vilnius, Lietuva,

²University of Würzburg, Physical Chemistry Department, Am Hubland, 97074 Würzburg, Germany,

³Vilniaus universitetas, Fizikos fakultetas, Bendrosios fizikos ir spektroskopijos katedra,
Saulėtekio al. 9-III, LT-10222 Vilnius, Lietuva,

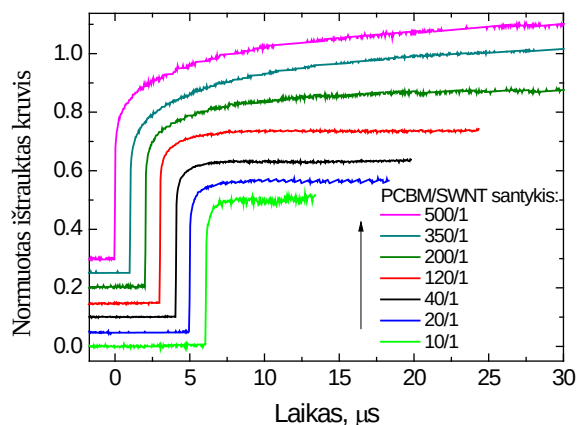
el. p.: vidmantas.jasinskas@ftmc.lt

Jau gana nemažai metų anglies nanovamzdeliai (CNT) dėl savo savybių, ir kartu potencialių pritaikomumo galimybių, domina mokslininkus ir inžinierius. Puslaidininkiniai CNT potencialiai gali būti panaudojami kaip fotoaktyvus elementas Saulės celėse ar fotodetektoriuose [1]. Foto atsakas infraraudonųjų spindulių diapazone leidžia panaudoti CNT fototemperatūriniais detektoriams [2]. CNT taip pat buvo bandomi taikyti Saulės celėse kaip krūvio pernašą gerinanti medžiaga [3], kaip elektronų akceptorinė medžiaga mišinys su konjuguotais polimerais [4], o taip pat ir kaip elektronų donorinė medžiaga tūrinėse heterosandūrose su fullereno dariniais. Daugumoje potencialių pritaikymų CNT bandoma naudoti taikant plonasluoksnes technologijas, kai susipynę CNT sudaro perkoliacinius tinklus. Tokių sluoksnių fotolaidumas yra labai svarbus parametras, lemiantis CNT pagrindu pagamintų prietaisų efektyvumą.

Krūvininkų generacijai, dreifui ir rekombinacijai tirti mes naudojome stacionarios ir nestacionarios fotosrovės metodus, taip pat uždelsto ištraukimo lauko (TDCF - time delayed collection field) bei laike išskirtos elektriniu lauku indukuotos antros harmonikos generacijos (TREFISH - time resolved electric field induced second harmonic) metodus. Bandiniai buvo padaryti suformuojant plonus sluoksnius iš polifluorenu įkapsuliuotų (6,5) vienasienių anglies nanovamzdelių ([6,5]-SWCNT) ir PCBM ([6,6]-phenyl-C₆₁-butyric acid methyl ester) mišinio ant „šukų“ tipo elektrodų.

Krūvininkų generacija vyksta spontaniškai, vykstant elektrono pernašai iš sužadinto SWCNT į PCBM molekulę. Skylės sukuria nestacionarią fotosrovę SWCNT tinkle, kuri yra labiau apsprendžiama perkoliacinio tinklo pobūdžio nei rekombinacijos ar krūvininkų ištraukimo. Nestacionari fotosrovė (1 pav.) turi tris būdingas komponentes.

Ultrasparti dalis, trunkanti mažiau nei 2 ns priskirtina skylės judėjimui SWCNT viduje. Skylės peršokimas tarp CNT trunka keletą mikrosekundžių. Lėčiausia fotosrovės dalis stebėta esant didelėms PCBM koncentracijoms ir priskirtina elektrono pernašai per susisiekančias PCBM molekules. Elektronai ir skylės, esantys tame pačiame SWCNT, rekombinuoja per 1 μs. Krūvininkai, lokalizuoti prie skirtingų nanovamzdelių gali gyvuoti šimtus mikrosekundžių.



1 pav. Krūvio ištraukimo kinetikos.

Literatūra

1. M. S. Arnold, J. L. Blackburn, J. J. Crochet, S. K. Doorn, J. G. Dugue, A. Mohite and H. Telg, Phys. Chem. Chem. Phys., 2013, 15, 14896–14918.
2. K. Erikson, X. He, A. A. Talin, B. Mills, R. H. Hauge, T. Iguchi, N. Fujimura, Y. Kawano, J. Kono, and F. Léonard, *Figure of Merit for Carbon Nanotube Photothermoelectric Detectors*, ACS Nano, 2015, 9 (12), pp 11618–11627
3. T.Y. Lee, P. S. Alegaonkar and J.-B. Yoo, Thin Solid Films, 2007, 515, 5131–5135.
4. M. Lanzi, L. Paganin and D. Caretti, Polym. J., 2008, 49, 4942–4948.
5. M.J. Shea and M.S. Arnold, Appl. Phys. Lett., 2013, 102, 243101.

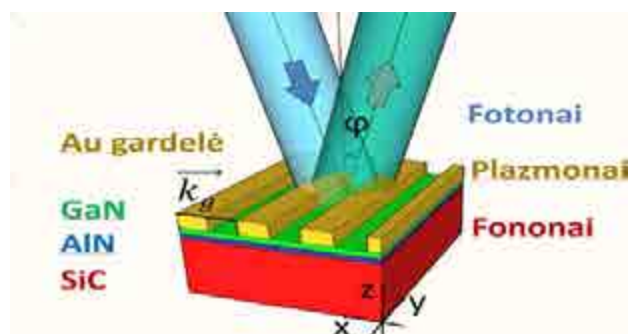
FONONŲ-PLAZMONŲ MODOS AlGaIn/GaN BEI AlGaIn/GaN/SiC STRUKTŪROSE SU PERIODINE METALINE GARDELE

Vytautas Janonis, Vytautas Jakštas, Irmantas Kašalynas

Fizinių ir technologijos mokslų centras, Optoelektronikos skyrius
Saulėtekio al. 3, LT-10257 Vilnius, el. p.: vytautas.janonis@ftmc.lt

Pastaruoju metu terahercų (THz) srities komponentai bei sistemos susilaukia didelio tyrėjų dėmesio dėl didelio THz taikymo įvairiose srityse nuo kosmoso iki medicinos pramonės. Siekiant išplėsti THz komponentų funkcines galimybes atliekami plazmoninių ir kristalinės gardelės osciliacijų (fononų) tyrimai panaudojant polinius puslaidininkinius GaAs, InGaAs [1] bei GaN, AlN heterodarinčius [2-3]. GaN medžiagų sistema paremti elektronikos ir fotonikos prietaisai dėl unikalių tik plačiatarpams puslaidininkiams būdingų fizikinių savybių yra vieni perspektyviausių tolimesniam THz komponentų vystymuisi.

Šiame darbe buvo ištirti atspindžio spektrai AlGaIn/GaN heterostruktūrų su ant paviršiaus suformuotomis metalinėmis gardelėmis dažnių ruože $400\text{--}1200\text{ cm}^{-1}$. Bandinių dizainas parodytas 1 pav.



1 pav. Principinė atspindžio spektrų tyrimo eksperimento schema tiriant bandinį augintą ant SiC padėklo.

Eksperimentams buvo pagaminti du bandiniai. Pirmasis, sudarytas iš AlGaIn/GaN heterostruktūros, kuri užauginta ant tūrinio GaN padėklo, ant paviršiaus turėjo 16 μm periodo metalinę Ti/Au gardelę. Antrame bandinyje analogiška AlGaIn/GaN heterostruktūra buvo užauginta ant 6H-SiC padėklo su AlN pasluoksniu, o metaliniai elektrodai ant paviršiaus išdėstyti periodiškai 7 μm atsumu..

Atspindžio spektrai buvo išmatuoti kambario aplinkoje su Furjė spektrometru, panaudojant poliarizuotą 20 laipsnių kampu krintantį šviesos pluoštelį dažnių ruože $400\text{--}1200\text{ cm}^{-1}$, į kurį patenka GaN, AlN ir SiC „Reststrahlen“ juostos.

Bandinių atspindžio spektrai bu skaičiuojami modifikuotu RCWA (angl. Rigorous Coupled Wave Analysis) metodu, kuris leido modeliuoti dvimates bandinių struktūras, skleidžiant Furjė eilutėmis ir sprenžiant Maksvelo lygtis.

Pirmojo bandinio atspindžio spektre buvo stebėtos GaN, kaip pagrindinės medžiagos, skersinio (TO) ir išilginio (LO) optinių fononų modos, iš kurių tik LO fononų saveika su paviršiniais gardelės plazmonų-poliaritonais (angl. Surface Plasmon Polaritons – SPP) buvo aktyvi, jeigu gardelės banginis vektorius patekdavo į GaN „Reststrahlen“ juostą.

Antrojo bandinio atveju atspindžio spektrai buvo gerokai sudėtingesni. Panaudojus plazmonų sužadavimo sąlygas buvo pastebėta spektre daugiau aktyvių LO-SPP modų dėl skirtingų GaN, AlN ir SiC epitaksinių sluoksnių „Reststrahlen“ juostų ypatumų.

Suskaičiavus kiekvieno bandinio atspindžio spektrus pavyko gauti gerą eksperimentinių bei teorinių rezultatų sutapimą. Sumodeliuoti visi spektriniai atspindžio spektro ypatumai leido nustatyti fononais sustiprintas SPP modas bei analizuoti kiekvienos iš jų elektromagnetinio lauko skirstinius AlGaIn/GaN heterostruktūroje.

Skaičiavimo metodų sėkmingas panaudojimas eksperimentiniams rezultatams aprašyti, tikimasi, leis ateityje kurti naujus THz srities optikos komponentus, detektorius ir šaltinius, pasižyminčius užduotu selektyvumu iš anksto pasirinktame dažnių ruože. Darbo rezultatai bus publikuojami straipsnyje [4].

Literatūra

- [1] Ibáñez J, Tarhan E, Ramdas A, Hernández S, Cuscó R, Artús L, Melloch M, and Hopkinson M Phys. Rev. B 69 075314 2004.
- [2] Talwar D. N. Appl. Phys. Lett. 97, 051902 2010.
- [3] Rahbany N, Kazan M, Tabbal M, Tauk R, Jabbour J, Brault J, Damilano B, and Massies J., J. Appl. Phys. 114, 053505 2013.
- [4] Janonis V., Jakštas V., Kašalynas I., Prystawko P., Kruszewski P., Reflectivity of plasmon-phonon modes in grating-coupled AlGaIn/GaN heterostructures grown on SiC and GaN substrates, Phys. Status Solidi B: (under revision).

NETAISYKLINGOJI NYKŠTUKINĖ GALAKTIKA LEO A

Rokas Naujalis¹, Rima Stonkutė^{1,2}, Vladas Vansevičius^{1,2}

¹Fizinių ir technologijos mokslų centras, Fundamentinių tyrimų skyrius
Saulėtekio al. 3, LT-10257 Vilnius, el. p.: rokas.naujalis@ftmc.lt

²Vilniaus universiteto Astronomijos observatorija, Čiurlionio g. 29, LT-03100, Vilnius

Pagal šiuo metu vyraujančią kosmologinę paradigmą, tokios galaktikos kaip Leo A, Visatos pradžioje buvo mažiausi dariniai, kuriems sąveikaujant ir jungiantis formavosi didžiosios galaktikos, kaip Paukščių Takas. Netaisyklingoji nykštukinė galaktika Leo A puikiai tinka galaktikose vykstantiems fizikiniams procesams tirti, nes ji yra izoliuota ir, manoma, jog seniai nesąveikavo su kitais objektais, joje aptinkama senesnė nei 10 mlrd. metų amžiaus žvaigždžių populiacija ir, nors žvaigždėdara vyksta iki šių dienų, ~80% barioninės masės vis dar sudaro dujos.

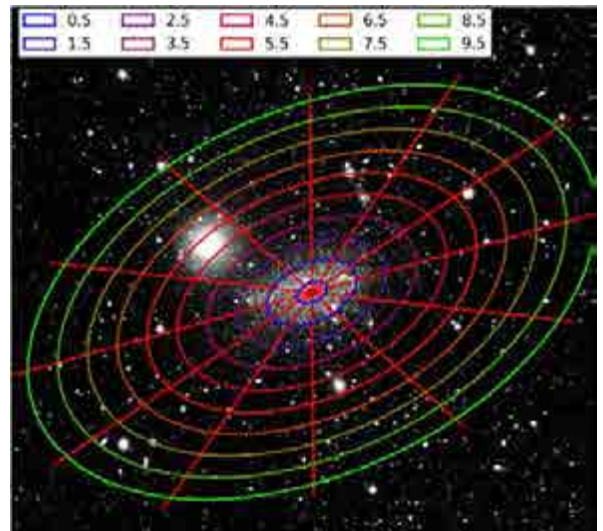
Mūsų tikslas – naudojant Subaru Supri-me-Cam plataus lauko stebėjimus nustatyti Leo galaktikos struktūrinius parametrus.

Tiksliais fotometriniams matavimas atlikti reikia kuo tiksliau žinoti galaktikos centro koordinates ir jos elipsiškumo parametrus. Šiam tikslui panaudotas Leo A Subaru teleskopo stebėjimų katalogas [1], iš kurio atrinktos raudonųjų milžinių sekos žvaigždės, atitinkančios senesnes nei vieno milijardo metų žvaigždžių populiacijas. Šio tipo žvaigždžių pasiskirstymas geriau atspindi galaktikos struktūrinius parametrus nei stochastiškai erdvėje pasiskirsčiusios jaunos žvaigždžių populiacijos. Naudojant *iraf.ellipse* programą [2] buvo nustatytos Leo A centro koordinatės: R.A.=09^h 59^m 24,5^s, Decl.=+30° 44' 47"; elipsiškumas – 0,60 ± 0,015; ir elipsės didžiosios ašies posūkio kampas – 114,6° ± 0,7°.

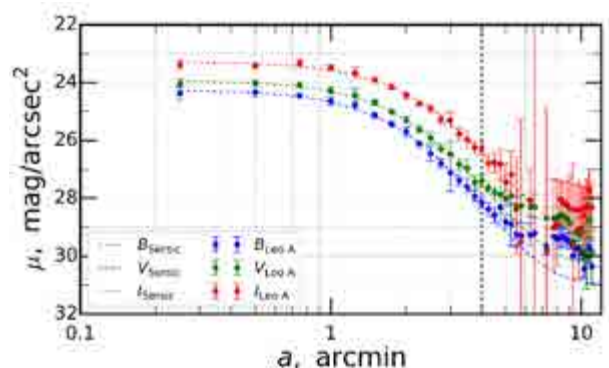
Pašalinus foninius objektus (ryškesnes Paukščių Tako žvaigždes ir galaktikas), buvo išmatuoti radialiniai paviršinio šviesio profiliai. Individualūs profiliai išmatuoti azimutiniuose segmentuose (1 pav.). Apskaičiavus jų medianą buvo nustatyti integraliniai paviršinio šviesio profiliai (2 pav.). Prie integralinių profilių priderinti (iki vertikalios brūkšninės linijos) teoriniai Sersic modeliai (brūkšninės linijos).

Pagal profilius buvo nustatytas centrinis paviršinis šviesis B , V ir I fotometrinėse juostose: $\mu_{0B} = 24,3$, $\mu_{0V} = 24,0$, $\mu_{0I} = 23,3$ mag; Sersic rodiklis $n = 1,2$; pusės šviesio spinduliai: $R_B = 1,8$, $R_V = 2,0$, $R_I = 2,1$ arcmin. Taip pat buvo apskaičiuotos galaktikos šviesio augimo

kreivės, iš kurių gauti visos galaktikos ryškiai: $B_{\text{tot}} = 13,26 \pm 0,05$, $V_{\text{tot}} = 12,84 \pm 0,04$, $I_{\text{tot}} = 12,09 \pm 0,04$ mag; ir integraliniai spalvos rodikliai: $B - V = 0,42$, $V - I = 0,75$ mag.



1 pav. Leo A galaktikos nuotrauka / fotometrinėje juostoje. Parodytos matavimo elipsės, jų didžiojo pusašio ilgis lanko minutėmis (arcmin) nurodytas legendoje. Atvaizduota tik pusė matavimui naudotų azimutinių krypčių ir ketvirtadalis elipsių.



2 pav. Leo A radialiniai paviršinio šviesio profiliai B , V ir I fotometrinėse juostose (spalvoti taškai) ir prie jų priderinti Sersic modeliai (spalvotos brūkšninės linijos).

Literatūra

1. Stonkutė, R., Arimoto, N., Hasegawa, T., ir kt. 2014, ApJ Suppl. Ser., **214**, 19
2. Jedrzejewski, R. I. 1987, MNRAS, **226**, 747

PASLĖPTŲ MAŽOS SUGERTIES OBJEKTŲ APTIKIMAS NAUDOJANT TERAHERCINĘ SPINDULIUOTĘ

Domas Jokubauskis, Linas Minkevičius, Dalius Seliuta, Irmantas Kašalynas,
Gintaras Valušis

Fizinių ir technologijos mokslų centras, Optoelektronikos skyrius
Saulėtekio al. 3, LT-10257 Vilnius, el. p.: domas.jokubauskis@ftmc.lt

Terahercų (THz) dažnių ruožas tarp 100 GHz ir 10 THz yra intensyviai naudojamas vaizdinimui saugumo [1], medicinos [2] ir kokybės kontrolės [3] taikymuose. Dažniausiai tokiems taikymams yra naudojama Rentgeno spinduliuotė, kuri dėl fotono didelės energijos yra jonizuojanti ir pavojinga sveikatai. Dėl to yra reikalingi novatoriški sveikatai nepavojingi sprendimai, kurie leistų aptikti objektus, pagamintus iš mažo tankio medžiagų tokių kaip tekstilė, plastikai, popierius ir kt. Tokiems taikymams siūlome naudoti THz spinduliuotę, galinčią prasiskverbti per šviesai nelaidžias medžiagas, kurios gali būti skaidrios Rentgeno spinduliams.

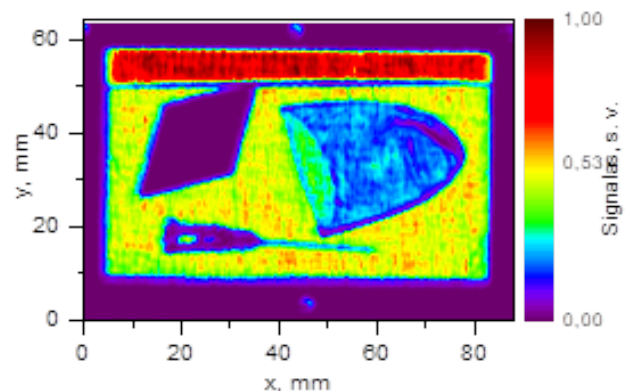
Šiame darbe mes parodome THz spinduliuotės taikymą paslėptų medvilniniame audinyje objektų, pagamintų iš mažo ir didelio tankio medžiagų, vaizdinimui.

THz vaizdinimo eksperimento stendas sudarytas iš grandininio dažnio daugiklio THz šaltinio, didelio tankio polietileno (HDPE) lęšių, keleto neašinių parabolinių veidrodžių, elektronškai valdomų X-Y ašių ir titano mikro-bolometrinis [4] arba InGaAs peteliškės formos diodo THz detektorius. Bandiniai buvo patalpinti į fokusuojančio veidrodžio židinį pralaidumo matavimui. Prasiskverbusi per bandinį spinduliuotė buvo registruojama THz detektoriumi, kurio išėjimo signalas buvo stiprinamas sinchroniniu stiprintuvu.

Plieninė geležtė, poodinė adata ir nitrilinės pirštinės gabalėlis buvo pasirinkti kaip bandiniai, kurie buvo įvynioti į medvilninį audinį su skirtingu sluoksnių skaičiumi. Terahercų vaizdai buvo užrašyti 100 GHz, 300 GHz ir 600 GHz dažniuose pralaidumo geometrijoje.

Teraherciniame vaizde galima išskirti paslėptų objektų kontūrus. Vaizdinimo rezoliucija leidžia išskirti 0,6 mm diametro

adata ir atskiri nitrilinės pirštinės sluoksnius. Tai leidžia teigti, jog THz vaizdinimas gali būti naudojamas mažos sugerties objektų aptikimui medvilniniame audinyje.



1 pav. Vaizdas, užfiksuotas naudojant 0.6 THz šaltinį, sudarytas iš plieninės geležtės, adatos ir nitrilinės pirštinės gabalėlis tarp 6 medvilninio audinio sluoksnių.

Literatūra

1. M. Kowalski, N. Palka, M. Piszczek, and M. Szustakowski, Hidden object detection system based on fusion of THz and VIS images, Acta Phys. Pol. A, 124, 490–493, (2013).
2. F. Wahaia, I. Kasalynas, D. Seliuta et al., Study of paraffin-embedded colon cancer tissue using terahertz spectroscopy, J. Mol. Struct., **1079**, 448–453, (2015).
3. M. Dohi et al., Application of terahertz pulse imaging as PAT tool for non-destructive evaluation of film-coated tablets under different manufacturing conditions, J. Pharm. Biomed. Anal., **119**, 104–113, (2016).
4. J. Trontelj and A. Sešek, Micro-machined millimeter wave sensor array for FM radar application, Proc. SPIE 8544, Millimetre Wave and Terahertz Sensors and Technology V, **8544**, 85440G (2012).

NEURONO SINCHRONIZACIJA KRŪVIU OPTIMALIA SIGNALO FORMA

Augustinas Povilas Fedaravičius, Kęstutis Pyragas

Fizinių ir technologijos mokslų centras, Fundamentinių tyrimų skyrius
Saulėtekio al. 3, LT-10257 Vilnius, el. p.: apfedaravicius@gmail.com

Vienas iš netiesinių osciliatorių valdymo teorijos pritaikymų – neurostimuliacija, plačiai naudojama įvairių ligų gydymui. Kliniškai labai svarbu parinkti ne tik veiksmingus, bet ir saugius stimuliavimo parametrus. Elektrinės stimuliacijos žalą nervinėms ląstelėms sąlygoja absoliuti pro neurono membraną pratekėjusio krūvio vertė, krūvio tankis bei stimuliacijos signalo forma – eksperimentiškai nustatyta, jog neuronai pažeidžiami mažiausiai, kai stimuliacija tenkina krūvio balanso sąlygą, t.y. per stimuliacijos periodą suminė krūvio vertė lygi nuliui.

Uždavinio tikslas – nustatyti optimalią stimuliavimo srovės formą, kuri sinchronizuotų neuroną su išorine srove taip, kad absoliutaus pro neurono membraną pratekėjusio krūvio vertė būtų minimali ir būtų tenkinama krūvio balanso sąlyga. Hodgkin-Huxley neurono modeliui taikytas fazinės redukcijos metodas, leidžiantis daugiamatę diferencialinę lygtį transformuoti į vienmatę fazės lygtį, taip ženkliai palengvinant sistemos analizę. Remiantis Pontriagino maksimumo principu, kuris teigia, jog Hamiltono funkcija ant optimalios trajektorijos yra maksimali ir nepriklauso nuo laiko, išvesta krūviu optimalios sinchronizuojančiosios srovės išraiška:

$$I^*(\vartheta) = I_{\pm} H[z(\vartheta) - z_2] + I_{\mp} H[z_1 - z(\vartheta)] \quad (1)$$

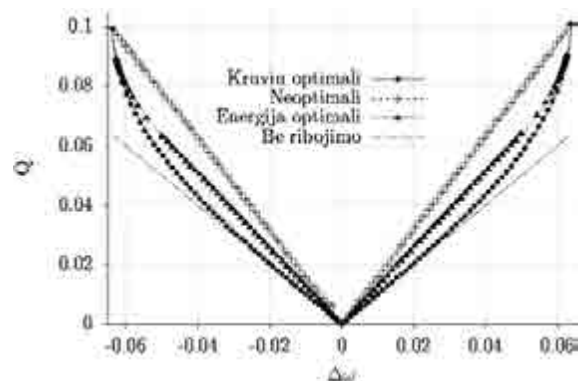
$$I_{\pm} M_{+}(z_2) + I_{\mp} M_{-}(z_1) = \Delta\omega \quad (2)$$

$$I_{\pm} N_{+}(z_2) + I_{\mp} N_{-}(z_1) = 0 \quad (3)$$

$$Q = |I_{\pm}| N_{+}(z_2) + |I_{\mp}| N_{-}(z_1) \quad (4)$$

Čia $I^*(\vartheta)$ – optimali srovė, ϑ – fazė, $I_{\pm}$ – amplitudės ribojimai, $H(x)$ – Hevisaido funkcija, $z(\vartheta)$ – fazės atsako funkcija, $z_{1,2}$ – parametrai, $M_{\pm}, N_{\pm}$ – pagalbinės funkcijos, $\Delta\omega$ – išderinimas, Q – krūvis.

Gauti rezultatai pademonstruoti naudojant Stuart-Landau osciliatorių, kuriam visas reikalingas išraiškas galima gauti analitiniu būdu.



1 pav. Arnoldo liežuviai skirtingoms signalo formoms Stuart-Landau osciliatoriui.

Hodgkin-Huxley modeliui fazės atsako funkciją galima rasti tik skaitmeniniu būdu, todėl gauti rezultatai apibendrinti bet kokiai fazės atsako funkcijai. Esant mažiems išderinimams, $Q(\Delta\omega)$ yra beveik tiesinė ir priklauso tik nuo to, kaip fazės atsako funkcija atrodo ties jos ekstremumais. Šiose srityse fazės atsako funkcija aproksimuojama parabolėmis. Tai leidžia rasti optimalią sinchronizuojančiąją srovę žinant tik fazės atsako funkcijos maksimumą ir minimumą:

$$I^*(\vartheta) = \begin{cases} I_{+} \Pi\left(\frac{\vartheta - \vartheta_{\max}}{\Delta\vartheta_{+}}\right) + I_{-} \Pi\left(\frac{\vartheta - \vartheta_{\min}}{\Delta\vartheta_{-}}\right), & \text{kai } \Delta\omega > 0 \\ I_{-} \Pi\left(\frac{\vartheta - \vartheta_{\max}}{\Delta\vartheta_{-}}\right) + I_{+} \Pi\left(\frac{\vartheta - \vartheta_{\min}}{\Delta\vartheta_{+}}\right), & \text{kai } \Delta\omega < 0 \end{cases} \quad (5)$$

Čia Π – stačiakampė funkcija, $\vartheta_{\max}, \vartheta_{\min}$ – fazės atsako funkcijos ekstremumai, $\Delta\vartheta_{+}, \Delta\vartheta_{-}$ – atitinkamai teigiamos ir neigiamos impulso dalies pločiai.

GRĮŽTAMOJO RYŠIO ALGORITMO ĮDIEGIMAS PROGRAMOJE *Gadget-3*

Kostas Sabulis, Kastytis Zubovas

Fizinių ir technologijos mokslų centras, Fundamentinių tyrimų skyrius
Saulėtekio al. 3, LT-10257 Vilnius, el. p.: kostas.sabulis@ftmc.lt

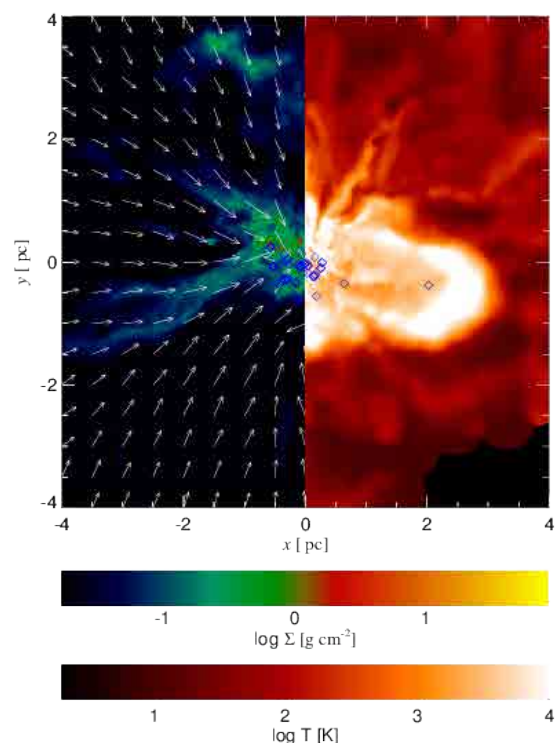
Žvaigždėdara – sudėtingas reiškinys, kuriam įtaką daro įvairūs fizikiniai procesai. Naujų žvaigždžių formavimuisi svarbi ne tik gravitacija, dujų dinamika, bet ir šiluminiai procesai vykstantys tankiuose molekulinio dujų debesyse, kitų galaktikos objektų spinduliuotė, gravitacija, magnetinis laukas, besiformuojančių žvaigždžių grįžtamas ryšys (žvaigždžių vėjas, fotojonizuojanti spinduliuotė ir supernovų sproginiai [1,2]). Toks grįžtamas ryšys įkaitina aplinkines dujas ir gali tiek jas pašalinti iš jauno, besiformuojančio žvaigždžių spiečiaus, tiek ir pradėti antrinę žvaigždėdarą dėl smūginių bangų sukurtų didelio tankio regionų, kuriuose toliau vyksta dujų fragmentacija.

Šiuos procesus stebėti nėra lengva dėl to, kad žvaigždėdara vyksta tankiuose ir šaltuose molekulinio vandenilio debesyse. Jaunų žvaigždinių objektų šviesa juose yra susilpninama ir paraudoninama tarpžvaigždinių dulkių, taip apsunkinami stebėjimai. Kitas veiksnys, neleidžiantis stebėti žvaigždėdaros, yra didelės šio reiškinio laiko skalės, daug ilgesnės nei žmogaus gyvenimo trukmė.

Vienas iš būdų tirti žvaigždėdaros proceso dinamiką – skaitmeninis modeliavimas. Šiandieniniai modeliai įskaito vis daugiau ir sudėtingesnių fizikinių procesų, leidžia geriau įvertinti jų įtaką. Šiame pranešime pristatysiu fotojonizacijos grįžtamąjį ryšį įskaitančio skaitmeninio žvaigždėdaros modelio įgyvendinimą modeliavimo programoje *Gadget-3* (modifikuota *Gadget-2* [3] versija).

Pagrindinis šiame pranešime pristatomas rezultatas – naujas grįžtamojo ryšio algoritmas paremtas supaprastintu Monte Carlo spinduliuotės pernašos algoritmu. Toks sprendimas leidžia imituoti fotojonizuojančios spinduliuotės poveikį modelyje neprailginant skaičiavimo laiko iki nepraktiško. Pritaikius naująjį algoritmą hidrodinaminiam modeliui buvo suskaičiuoti testiniai modeliai ir realistiški žvaigždėdaros regiono modeliai. Pristatomi skaitmeniniai modeliai atitinka besiformuojančios žvaigždžių populiacijos evoliucijos laikotarpį

kai dominuojantis grįžtamas ryšys yra kuriamas fotojonizuojančios spinduliuotės. Kolapsuojančiame molekulinio debesies modelyje žvaigždiniai objektai sugeba įkaitinti dalį dujų ir taip sulėtinti žvaigždinės populiacijos formavimąsi.



1 pav. Tankio ir temperatūros pasiskirstymai hidrodinaminame žvaigždėdaros modelyje

Šiuo darbu siekiame parodyti, kad fotojonizuojančios spinduliuotės kuriamas grįžtamas ryšys yra reikšmingas žvaigždėdaros proceso supratimui ir stebėjimų interpretacijoms. Tikslesnis jo įskaitymas į skaitmeninius modelius padės geriau suprasti jaunų žvaigždinių populiacijų dinamiką.

Literatūra:

1. C.F. McKee, E.C. Ostriker, Theory of Star Formation, 2007, ARA&A, 45, 565.
2. Dale J. E., The modelling of feedback in star formation simulations, 2015, New Astron. Rev., 68, 1.
3. V. Springel, The cosmological simulation code GADGET-2, 2005, MNRAS, 364, 1105.

FAZINĖ IR ELEMENTINĖ NANODARINIŲ ANALIZĖ PERŠVIEČIAMOJU ELEKTRONIŲ MIKROSKOPU

Martynas Skapas, Renata Butkutė, Valentina Plaušinitienė,
Eugenijus Šimoliūnas

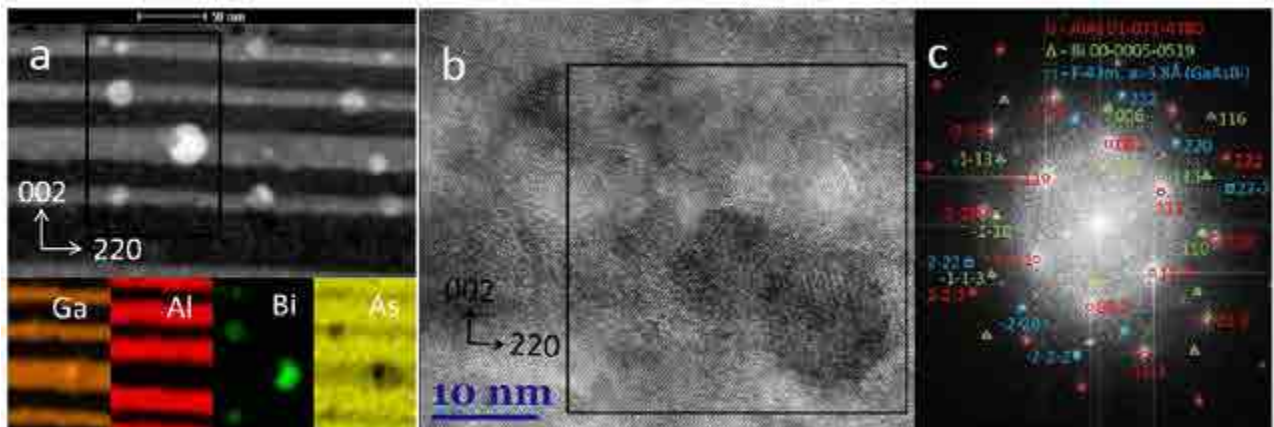
Fizinių ir technologijos mokslų centras, Medžiagų struktūrinės analizės skyrius
Saulėtekio al. 3, LT-10257 Vilnius, el. p.: martynas.skapas@ftmc.lt

Aukštos skiriamosios gebos peršviečiamoji elektroninė mikroskopija (HRTEM) yra itin galingas įrankis nanodarinių analizei. Šis metodas leidžia gauti nanometrinės skyros nuotraukas, o taip pat ir tuo pačiu metu gauti kitą informaciją – difrakcinius vaizdus fazinei analizei ar atlikti elementinę analizę. Vaizdo režimu galima pamatyti ne vien dalelių formas, sluoksniuotų struktūrų sluoksnių storių, etc., bet ir tirti kristalinės struktūros defektus, įvairias įsiterpusias fazes. Taip pat gali būti sudaromi nanometrinės skyros elementiniai žemėlapiai skenuojant elektronų spindulį per bandinį.

Šiame darbe bus pristatytos įvairios TEM tyrimų metodikos, kurios buvo naudotos įvairių kitose FTMC ir VU laboratorijose paruoštų bandinių analizei, t.y. GaAs ir LSMO ploni sluoksniai, užauginti MBE ir MOCVD metodais, virusai, išskirti iš įvairių natūralių šaltinių (juodųjų serbentų sulčių ir pan.). Taip pat trumpai pristatomas bandinių paruošimo procesas.

tirpalą užlašinant ant anglinė plėvele padengto tinklelio. Peršviečiamosios elektroninės mikroskopijos tyrimams naudotas FEI Tecnai G2 F20 mikroskopas su viena arba dviem akšimis varančiais bandinių laikikliais, 10Mpix CCD kamera (Gatan), skenavimo modulių, EDX spektrometru (EDAX) ir HAADF detektoriumi (Fishione).

GaAsBi-AlAs MQW struktūroms nustatyta, kad dalis Bi, esančio GaAsBi sluoksnyje, atkaitinimo metu išsikristalina į gryno Bi fazę (1 pav.) [1]. Taip pat nustatyta, kad Bi kvantinio taško dydį riboja kvantinės duobės storis. Fazinė kvantinio nustatyta iš FFT vaizdo, kuriame galima išskirti tiek AlAs, tiek Bi, tiek trečiosios fazės refleksus, kurie yra suindeksuoti ir pilnai identifikuoti, t.y. atlikti darinių, mažesnių nei 10 nm identifikaciją, fazinę ir elementinę analizę.



1 pav. a) GaAsBi-AlAs MQW struktūros STEM nuotrauka ir pažymėto ploto elementinis žemėlapis, b) Bi kvantinio taško HRTEM nuotrauka, c) b nuotraukoje pažymėto regiono FFT transformacija su priskirtais difrakciniais maksimumais.

Kristalinių bandinių paruošimui naudotas FEI Helios Nanolab650 dviejų spindulių skenuojantis elektroninis mikroskopas, o virusų bandiniai buvo paruošiami

Literatūra

1. R. Butkutė, G. Niaura, E. Pozingytė, B. Čechavičius, A. Selskis, M. Skapas, V. Karpus, A. Krotkus, "Bismuth Quantum Dots in Annealed GaAsBi/AlAs Quantum Wells". *Nanoscale research letters*, 12 (2017) 436.

BIOSKAIDŽIŲ FAZĘ KEIČIANČIŲ MEDŽIAGŲ (PCM) MIKROKAPSULIŲ TEKSTILEI KŪRIMAS IR SAVYBIŲ TYRIMAI

Virginija Skurkytė-Papievienė, Aušra Abraitienė

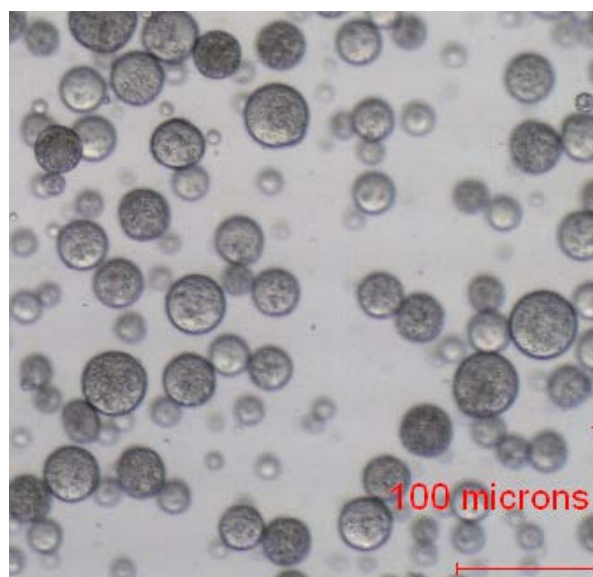
Fizinių ir technologijos mokslų centras, Tekstilės institutas
Demokratų g. 53, LT-48485 Kaunas, el. p.: virginija.skurkyte@ftmc.lt

Pastaraisiais metais didėja daugiafunkcinių tekstilės medžiagų pasižyminių specifinėmis savybėmis paklausa [1]. Įkapsuliuotos į polimerinį apvaskalą fazę keičiančios medžiagos (PCM) gali būti įterpiamos į tekstilės medžiagas, suteikiant termo-reguliacines savybes. Labiausiai paplitusi PCM yra parafinas, kuris pasižymi santykinai aukšta slaptąja lydymosi šiluma, tačiau yra gana degus, o jo gamybai naudojamas iškastinis kuras nepriskiriamas ekologiškoms medžiagoms. Taip pat ir mikrokapsulių apvaskalui naudojamos aplinkai kenksmingos medžiagos, vienas iš dažniausiai pasirenkamų yra melaminformaldehidas [2]. Todėl vienas iš šio tyrimo tikslų yra biologinės kilmės fazę keičiančių medžiagų naudojimo mikrokapsulių šerdžiai tyrimai.

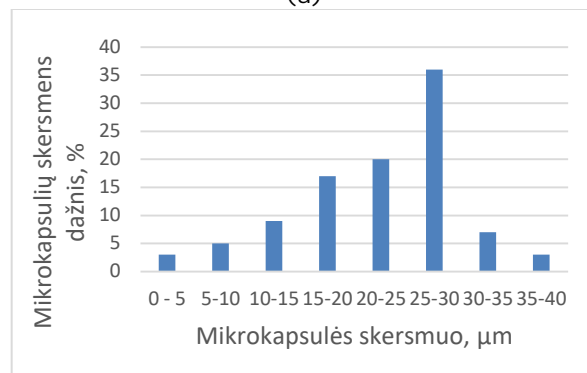
Kaip alternatyva parafinui naudoti biologinės prigimties riebalų rūgštys (laurilinė, palmitinė) ir riebalų rūgščių esteris (butilstearatas). Mikrokapsulių šerdies gamybai pasirinktas butilstearatas, apvaskalui – panaudotas bioskaidus polimeras – poli(pieno) rūgštis (PLA). Mikrokapsuliavimas buvo atliekamas tirpiklio išgarinimo metodu: PLA ir butilstearato tirpalo dichlormetane aliejinę fazę sumaišant su polivinilo alkoholio vandenine faze. Mikrokapsulės ant medvilnės pluošto buvo įvestos apdorojant laboratoriniame įrenginyje „Ahiba nuanceECO“, 20 min ir 40°C temperatūroje (mikrokapusių koncentracija dispersijoje – 30 %, pluošto ir dispersijos santykis 1:30). Apdorojimas buvo atliekamas ir su polimeriniu rišikliu ir nenaudojant jo. Pradinių medžiagų ir mikrokapusių savybės bei sąveika su tekstilės pluoštais vertinta diferencine skenuojamąja kalorimetrija (DSC), Furje transformacijos infraraudonųjų spindulių spektrometrija (FTIR), optine ir skenuojančia elektronine mikroskopija.

Gautų mikrokapsulių vaizdas ir skersmens pasiskirstymas pateiktas 1 pav. Vidutinis mikrokapusių skersmuo buvo $22,45 \pm 5,75 \mu\text{m}$, įkapsuliavimo efektyvumas – 10,9 %, slaptoji lydymosi šiluma – $9,3 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$. Kadangi mikrokapsulių apvaskalas neturi

aktyviai su pluoštu reaguojančių grupių, todėl didesnis mikrokapsulių kiekis įvestas panaudojant polimerinį rišiklį – slaptoji lydymosi šiluma gauta $5,24 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$, kuri atitinka aktyviai su pluoštu reaguojančių komercinių mikrokapsulių rezultatus ($6,33 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$).



(a)



(b)

1 pav. Bioskaidžių mikrokapsulių optinės mikroskopijos vaizdas (a) ir skersmens pasiskirstymas (b).

Literatūra

1. G. Nelson. Int J Pharm **242**, 55-62 (2002).
2. S.Mondal „Applied Thermal Engineering 28(2008) 1536-1550.

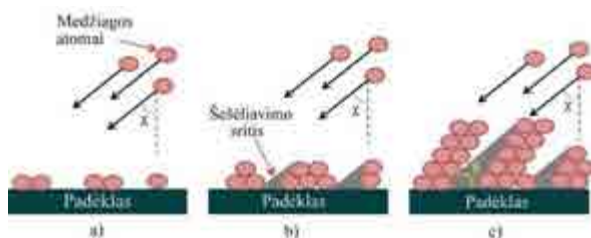
OPTINIŲ ELEMENTŲ FORMAVIMAS NANO-SKULPTŪRINIŲ DANGŲ PAGRINDU

Lina Grinevičiūtė¹, Andrius Melninkaitis², Rytis Buzelis¹, Ramutis Drazdys¹, Tomas Tolenis¹

¹Fizinių ir technologijos mokslų centras, Lazerinių technologijų skyrius
Savanorių pr. 231, LT-02300 Vilnius,

²Vilniaus universitetas, Lazerinių tyrimų centras, Saulėtekio al. 10, LT-10223 Vilnius
el. p.: lina.grineviciute@ftmc.lt

Nano-sculptūrinės dangos – tai ploni sluoksniai, kurių vidinė struktūra sudaryta iš atskirų, tam tikrą geometrinę formą turinčių elementų. Keičiant medžiagos vidinę struktūrą, galima keisti dangos optines, mechanines ir kt. savybes. Tokios dangos gali būti formuojamos garinimo elektronų pluoštu technologija, nusodinimo slystančiu kampu metodu (angl. Glancing angle deposition). Proceso metu padėklas pakreipiamas tam tikru kampu, o nano-struktūros formavimasis yra sąlygotas nusodinamų medžiagos atomų šešėliavimo reiškinio (1 pav.).



1 pav. Koloninės struktūros susidarymo schema: a – užuomazgų susidarymas, b – šešėliavimosi reiškinio pradžia, c – kolonų augimas.

Garinant slystančiu kampu, danga pradeda formotis pasviromis kolonomis. Papildomai keičiant kampą aplink padėklo paviršiaus normalę, galima formuoti dangas su trimatėmis struktūromis – stačiomis padėklui kolonomis, spiralinėmis, ševroninėmis struktūromis ir kt.

Lazerinėse sistemose naudojami optiniai elementai dažniausiai gaminami formuojant įvairias interferencines dangas. Standartinėse technologijose tai padaryti galima tik kombinuojant dvi medžiagas – didelio ir mažo lūžio rodiklio. Dažniausiai didesnio lūžio rodiklio medžiaga tampa ribojančiu veiksniu galingose sistemos, nes pasižymi mažesniu optiniu atsparumu. Garinimo kampu metodika leidžia kontroliuoti ne tik dangos struktūrą, bet ir jos porėtumą. Tai atveria galimybes keisti efektingą dangos lūžio rodiklį ir naudojant tik vieną medžiagą formuoti daugiasluoksnes optines interferencines dangas. Tokiu būdu formuojami itin atsparūs lazerinei spinduliutei elementai, pavyzdžiui, aukšto atspindžio veidrodžiai [1],

sudėtingesnės skaidrinančios dangos [2].

Optiniai elementai, kurie skirti kontroliuoti šviesos poliarizaciją, taip pat yra labai svarbi sudedamoji dalis lazerinėse sistemose. Poliarizacijos rūšies keitimui ir spinduliuotės intensyvumo valdymui naudojami komponentai – fazinės plokštelės ir poliarizatoriai. Fazinės plokštelės gali būti gaminamos iš natūralia optine anizotropija pasižyminčių kristalų, polimerų, skystųjų kristalų ir kitų anizotropinių sluoksnių. Dauguma šių elementų yra neilgaamžiai, trapūs, jautrūs aplinkos poveikiams ar sudėtingai pagaminami. Taip pat, Briusterio tipo poliarizatoriai sąlygoja spindulio nuokrypį nuo tiesaus kelio, kas reikalauja pakartotinio sistemos derinimo. Taikant abu šiuos optinius elementus didelių galių lazerinėse UV sistemose, jie gali tapti ribojančiais veiksniais dėl nepakankamo atsparumo lazerinei spinduliutei. Tačiau yra galimybė išvengti daugumos šių minusų – formuoti fazines plokšteles ir poliarizatorius garinimo kampu technologija. Taikant serijinio dvipusio nusodinimo metodiką (angl. Serial bi-deposition) galima formuoti anizotropines dangas [3]. Tokia danga susideda iš statmenų padėklui kolonų, kurių skerspjūviai eliptinės formos. Šviesai krentant statmenai į šią dangą stebimas optinis anizotropiškumas – atomų šešėliavimo kryptimi S lūžio rodiklis yra mažesnis (danga formuojasi retesnė) nei jai statmena kryptimi P (didesnis lūžio rodiklis).

Literatūra

1. T. Tolenis, L. Grinevičiūtė, L. Smalakys, M. Ščiuka, R. Drazdys, L. Mažulė, R. Buzelis, Andrius Melninkaitis, „Next generation highly resistant mirrors featuring all-silica layers”, Scientific reports, 7(10898), 2017.
2. T. Tolenis, L. Grinevičiūtė, R. Buzelis, L. Smalakys, E. Pupka, S. Melnikas, A. Selskis, R. Drazdys, and A. Melninkaitis „Sculptured anti-reflection coating for high power lasers”, Optical Material Express, 7(4), 2017.
3. L. Grinevičiūtė, R. Buzelis, M. Andrulevičius, A. Lazauskas, A. Selskis, Ramutis Drazdys, T. Tolenis, „Advanced design of UV waveplates based on nano-structured thin films”, Proc. SPIE 10356, Nanostructured Thin Films X, 103560Q, 2017.

STORŲ GaInAsBi SLUOKSNIŲ TYRIMAI IR TAIKYMAI

Sandra Stanionytė, Vaidas Pačebutas, Bronislovas Čechavičius,
Virginijus Bukauskas, Arūnas Krotkus

Fizinių ir technologijos mokslų centras, Optoelektronikos skyrius
Saulėtekio al. 3, LT-10257 Vilnius, el. p.: sandra.stanionyte@ftmc.lt

Bismidų junginiais pirmą kartą susidomėta daugiau nei prieš 10 metų. Įterpus net ir nedidelį bismuto kiekį į III-V grupės junginius, stebimas žymus draustinių juostų tarpo (E_g) sumažėjimas. GaAsBi/GaAs sistemos yra nemažai tyrinėtos, tačiau jų pritaikymas apsiriboja IR bangų, trumpesnių nei 1,1 μm , ruožu. $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{As}_{1-y}\text{Bi}_y$ junginius užauginus ant GaAs padėklų taikymo ruožą galima praplėsti iki 1,7-1,8 μm . $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{As}_{1-y}\text{Bi}_y$ junginiai taip pat gali būti alternatyva plačiai praktikoje naudojamoms suderintų gardelių $\text{In}_{0,53}\text{Ga}_{0,47}\text{As}/\text{InP}$ sistemoms, aprėpiančioms telekomunikacijų bei vidurinio IR ruožo sritį iki ~1,7 μm , kurią galima būtų praplėsti net iki ~6 μm išlaikant suderintų gardelių sistemą. [1]

Šio darbo tikslas buvo užauginti ir optiniais bei struktūriniais metodais ištirti keturnarius $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{As}_{1-y}\text{Bi}_y$ sluoksnius ant GaAs bei InP padėklų. Buvo siekiama užauginti kokybiškos kristalinės sandaros sluoksnius, skirtus optoelektronikos prietaisams, veikiantiems vidurinių IR bangų ruožo srityje.

Auginant InGaAs sluoksnius, In įvedimas keičia laidumo juostos padėtį susiaurindamas draustinių energijų tarpą, ir defektų juostą priartindamas prie laidumo juostos, dėl ko sumažėja junginio varža. Kadangi varžos sumažėjimas optoelektronikos prietaisams yra nepageidaujamas faktorius, Bi įvedimas į GaAs leistų pakeisti situaciją, nes papildomi lygmenys yra sukuriami virš valentinės juostos. Taigi, tinkamai parinkus Bi ir In kiekius keturnariame $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{As}_{1-y}\text{Bi}_y$ junginyje galima pasiekti elektroninę struktūrą, kurioje draustinių juostų tarpas susiaurėja simetriškai, o bandinio varža išauga lyginant su InGaAs esant tokiam pat draustinių energijų tarpui. Tokius sluoksnius galima panaudoti ultrasparčių fotodetektorių gamyboje [2].

Buvo auginami $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{As}_{1-y}\text{Bi}_y$ sluoksniai ant pusiau izoliuojančių (100) GaAs padėklų molekulinio pluoštelio epitaksijos (MBE) metodu. Pradžioje buvo auginami $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{As}$ sluoksniai su In koncentracija nuo 11% iki 18%. Vėliau į junginio sudėtį buvo įvedamas Bi nekeičiant III grupės elementų santykio. Darant prielaidą, kad In koncentracija

trinariame ir keturnariame junginyje yra tokia pati, matuojant bandinių XRD svyravimo kreives buvo nustatyta Bi koncentracija. Į $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{As}_{1-y}\text{Bi}_y$ sluoksnius buvo įvesta nuo 3% iki 12% Bi. Draustinių juostų tarpo vertės buvo sumodeliuotos pasitelkiant iš EDX ir XRD RSM rezultatų gautas sluoksnių sudėtis. Modeliavimo rezultatai gerai dera su optinio žadinimo-THz zondavimo metodika išmatuotomis E_g vertėmis.

Siekiant užauginti sluoksnius, skirtus taikymams tolimesnių IR bangų ruože, $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{As}_{1-y}\text{Bi}_y$ sluoksniai buvo auginami ant pusiau izoliuojančio InP (100) padėklo. Padėklo paviršiui išlyginti buvo auginamas suderintas su padėklo gardelės parametru $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{As}$ buferinis sluoksnis, o ant jo – keturnaris $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{As}_{1-y}\text{Bi}_y$ sluoksnis. Kadangi Bi įvedimas į sluoksnį deformuoja gardelę, susidariusius įtempimus buvo bandoma pašalinti į buferinį sluoksnį įterpiant didesnį indžio kiekį. Iš AFM matavimų rezultatų žymios sluoksnio paviršiaus kokybės pokyčių nuo buferio sudėties ir storio neįžvelgta, todėl toliau koncentravomės į E_g sumažinimą. Atlikti foto atspindžio matavimai parodė, kad užaugintų $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{As}_{1-y}\text{Bi}_y$ sluoksnių E_g sumažėjo net iki 0,52 eV (~2,4 μm).

Taigi apibendrinant reikia pažymėti, kad keturnariai $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{As}_{1-y}\text{Bi}_y$ sluoksniai buvo sėkmingai užauginti MBE metodu ant GaAs ir InP padėklų. Ant GaAs užauginti keturnariai pasižymėjo siauresniu nei 0,7 eV draustinių juostų tarpu, o $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{As}_{1-y}\text{Bi}_y$ sluoksnių ant InP padėklų E_g siekė 0,52 eV (~2,4 μm). Keturnario junginio sluoksniai ant GaAs jau yra taikomi ultrasparčių fotodetektorių gamyboje, o $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{As}_{1-y}\text{Bi}_y$ ant InP yra tinkami vidurinių IR bangų ruože veikiantiems optoelektronikos prietaisams. Ateityje planuojame tyrimus testuoti $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{As}_{1-y}\text{Bi}_y$ sluoksnių veiklįją sritį tolinant į dar ilgesnes IR bangas.

Literatūra

- [1] J.P. Petropoulos et al. *Applied Physics Letters* **99** 031110 (2011).
- [2] V. Pačebutas et al. *Semicond. Sci. Technol.* **30** (2015) 094012.

PLONŲ METALINIŲ IR DIELEKTRINIŲ SLUOKSNIŲ PANAUDOJIMAS OPTINĖMS DANGOMS FORMUOTI

Audrius Valavičius, Naglis Kyžas, Aleksandr Belosludtsev

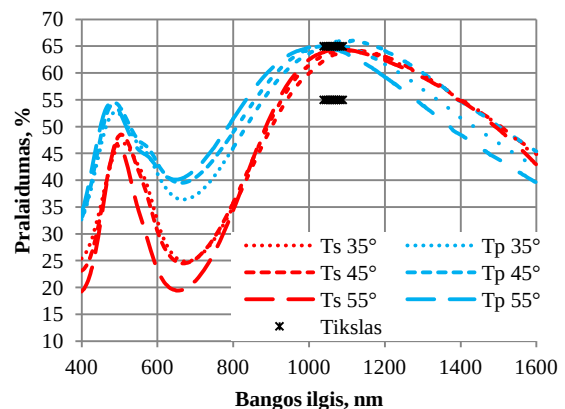
Fizinių ir technologijos mokslų centras, Lazerinių technologijų skyrius
Savanorių pr. 231, LT- 02300 Vilnius, el. p.: audrius.valavicius@ftmc.lt

Ultra ploni metaliniai sluoksniai – tai metaliniai sluoksniai kurių storis neviršija 20 nm. Tokie sluoksniai priklausomai nuo sluoksnio garinimo parametrų gali suformuoti ištisinį arba individualių salelių tipo sluoksnį, dėl ko abu sluoksniai pasižymės skirtingomis savybėmis. Individualių salelių tipo suformuotas sluoksnis turės didelę paviršinę varžą bei pasižymės didele sugertimi, dėl pasireiškiančio plazmoninio efekto, kai tuo tarpu suformuoto tokio pat medžiagos kiekio ištisini metalo sluoksnio savybės yra artimos arba panašios grynai medžiagai. Pagrindiniai parametrai kurie apsprendžia sluoksnio formavimo būdą: padėklo temperatūra, nusodinimo iš garų fazės greitis, padėklo ir nusodinamos medžiagos giminingumas [1]. Įprastai tik metalų oksidų formuojami sluoksniai būna skaidrūs ir ištisiniai.

Tradiciškai optinės dangos yra formuojamos naudojant, didelio ir mažo lūžio rodiklio, skaidrius metalų oksidų sluoksnius. Tačiau kartu naudojant ir ultra plonus metalinius sluoksnius būtų galima supaprastinti kai kurių optinių dangų dizainus. Pavyzdžiui, įprastai nepoliarizuojantys spektro dalikliai yra suformuojami naudojant 20 ir daugiau metalo oksido sluoksnių, bet tokios dangos yra labai jautrios storių paklaidoms, todėl praktiškai sunkiai įgyvendinamos [2]. Jeigu kartu su metalo oksidų sluoksniais panaudotume ir metalinius, tokias dangos būtų galima realizuoti kelėtos sluoksnių pagalba.

Dėl aukščiau minėtos priežasties šiame darbe atliktas ultra plonų metalinių sluoksnių tyrimas. Jo metu suformuoti ploni metaliniai sluoksniai prie skirtingų nusodinimo greičių ir padėklo temperatūrų, įvertinta susiformavusių sluoksnių struktūra. Šie vertinimai atlikti iš Spektrinių ir AFM Matavimų.

Pagal gautus tyrimo rezultatus, nepoliarizuojančiam spektro dalikliui suformuoti buvo pasirinkti ištisiniai metaliniai sluoksniai ir jų pagrindu suformuota danga, kurios spektrines charakteristikas matote 1 paveiksle.



1 pav. Suformuoto nepoliarizuojančio spektro daliklio pralaidumo priklausomybė nuo bangos ilgio, skirtingiems kampams (35°; 45°; 55°)

1 paveiksle pateiktas suformuotas spektro daliklis yra 1064 nm bangai. Iš spektrų taip pat matome jog pralaidumo vertė s ir p poliarizacijai skiriasi <1%. Šis pokytis išlieka ir kai kritimo kampas kinta nuo 35° iki 55° laipsnių.

Literatūra

1. O. Stenzel, *Optical Coatings*, (Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2014).
2. S. Xiong, W. Wang, Y. Zhang, *All-Dielectric Front-Surface Wide-Angle and Broadband Non-Polarizing Parallel Plate Beam Splitter* (Opt. Interf. Coatings, Optical Society of America, 2007).

MIKRO IR NANO STRUKTŪRŲ FORMAVIMAS METALU INICIJUOTU ĖSDINIMU

Mindaugas Kamarauskas, Marius Treideris, Audružis Mironas,
Viginijus Bukauskas, Arūnas Šetkus

Fizinių ir technologijos mokslų centras, fizikinių technologijų skyrius
Saulėtekio al. 3, LT-10257 Vilnius, el. p.: mindaugas.kamarauskas@ftmc.lt

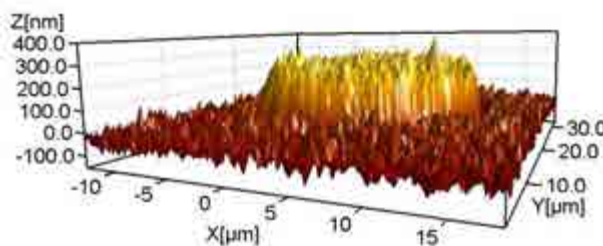
Si saulės elementai išlieka pasaulyje plačiausiai naudojami ir gaminami fotovoltiniais elementais. Nepaisant to, vis dar yra dedamos didelės pastangos siekiant pagerinti jų charakteristikas. Vienas iš būdų tai pasiekti būtų suformuoti struktūrizuotą Si paviršių su reljefą sekančia p-n sandūra. Tokios 3D konstrukcijos formavimas leistų ženkliai padidinti elemento paviršiaus plotą [1], tuo pačiu ir p-n sandūros plotą, nekeičiant panaudojamos medžiagos kiekio. Įvairios paviršinės struktūros savo ruožtu, taip pat, padidintų šviesos sugertį saulės elemente. Dėl to, yra svarbu suderinti struktūrizavimo sąlygas su sąlygomis aukštam elementų našumui gauti.

Periodinių gilaus profilio struktūrų formavimas yra vienas iš kelių išspręsti šį technologinį uždavinį. Įprastai tai padaroma sausu ėsdinimu. Ši technologija reikalauja litografiškai suformuotos metalinės kaukės. Mūsų darbo tikslas panaudoti tą pačią metalinę kaukę pigesnei struktūrų formavimo alternatyvai. Ši alternatyva - metalu inicijuotas cheminis ėsdinimas. Šioje metodikoje metalo sluoksnis veikia kaip ėsdinimo katalizatorius. Tai leidžia silicio padėkle suformuoti norimos formos ir gilaus profilio struktūras.

Struktūros buvo formuojamos ant p-tipo, (100) orientacijos, 1-5 Ωcm varžos silicio padėklų. Litografijos būdu suformavus piešinį ant padėklų buvo magnetroninio dulkinimo metodika suformuoti ploni (10, 20, 40, 80nm) sidabro, nikelio ar vario sluoksniai. Atlikus nukėlimo procedūrą buvo suformuotos įvairaus dydžio (nuo 2 μm iki 40 μm) dydžio metalinės periodiškai išsidėsčiusios struktūros. Ėsdinimas buvo atliktas H₂O:H₂O₂:HF mišinio ėsdiklyje. Optinės mikroskopijos metodika nustatyta kaip keičiasi struktūrų matmenys plokštumoje bei naudojant atominės jėgos

mikroskopiją išmatuoti ėsdinimo gylyai bei struktūrų matmenys plokštumoje. Buvo įvertinta struktūrų parametrų po ėsdinimo priklausomybė nuo metalo sluoksnio storio, ėsdinimo laiko, ėsdiklio sudėties bei struktūrų ploto įtaka paviršiaus morfologijai.

Atlikti tyrimai parodė, kad naudojant plonus metalo sluoksnius galima suformuoti periodines struktūras (1 pav.) silicio paviršiuje arba stipriai tekstūruoti visą jo paviršių. Tokių struktūrų parametrai priklauso nuo metalo sluoksnio, ėsdinimo trukmės bei ėsdiklio sudėties. Saulės elementai pagaminti tekstūruojant Si paviršių šiuo metodu pasižymi panašiomis charakteristikomis, kaip ir saulės elementai tekstūruoti piramidėmis.



1 pav. Suformuotos struktūros 3D atvaizdas.

Reikšminiai žodžiai: metalu inicijuotas ėsdinimas, juodas silicis, kontroliuojamas ėsdinimas.

Literatūra

- [1] A. Šetkus, I. Šimkienė, M. Treideris, V. Bukauskas, A. Reza, A Nano-Hole Array Based 3D C-Si Solar Cell with Enhanced Light Conversion Characteristics, (28th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition Proceedings, 312 – 315, 2013).

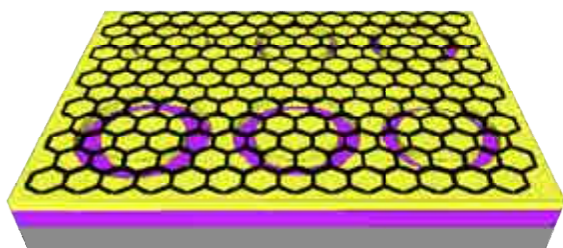
GRAFENO KONTAKTŲ PAVIRŠIAUS TYRIMAS

Andrius Sakavičius, Algimantas Lukša, Viktorija Nargelienė, Virginijus Bukauskas,
Gvidas Astromskas, Arūnas Šetkus

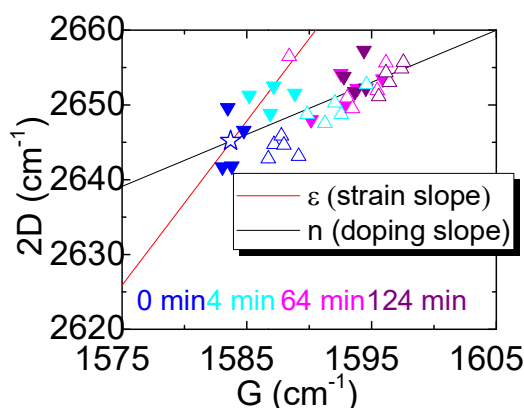
Fizinių ir technologijos mokslų centras, Fizikinių technologijų skyrius
Saulėtekio al. 3, LT-10257 Vilnius, el. p.: andrius.sakavicius@ftmc.lt

Prietaisų iš grafeno kūrimui svarbus grafeno bei metalo elektrinių kontaktų optimizavimas, kurį atliekame struktūras iškaitindami Ar dujų sraute. Metalinių kontaktų formavimui naudojame Au ir Ni. Stebimi kontaktinės (R_C) ir sluoksnio (R_{Sh}) varžų mažėjimai padeda įvertinti kontaktų optimizavimą, tačiau būtina detalesnė analizė. Šiam tyrimui pasitelkiama Ramano spektroskopija bei Kelvino zondo jėgos mikroskopija. Ramano spektroskopija tiria grafeno sluoksnio legiravimą, defektus bei įtempimus. Stebime, jog grafenas, esantis ant SiO_2 iškaitinimo metu legiruojamas p tipu. Tuo tarpu legiravimo mechanizmas grafeno, esančio ant metalų, nėra iki galo aiškus, tačiau iškaitinimo metu stipriai kinta įtempimų sąveika tarp grafeno ir metalų. 2D ir G smailių padėčių santykio žemėlapi (pos(2D)/pos(G) mapping) naudojame sluoksnio paviršiaus legiravimo vaizdavimui ir struktūros kitimui.

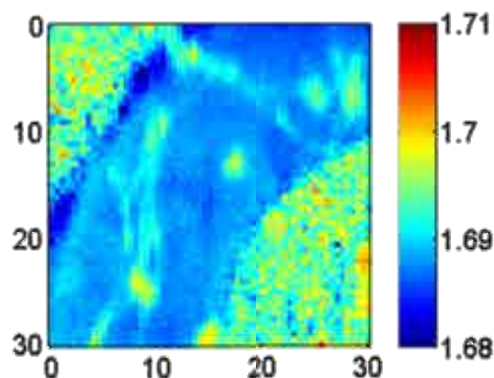
Kelvino zondo jėgos mikroskopija tiriamė darbinės funkcijos kitimą bei paviršiaus krūvio potencialą. Pridėjus priešįtampį ir matuojant paviršiaus potencialo žemėlapi paaiškėjo, kad didžiausias potencialo kritimas sietinas su grafeno sluoksnio įplyšimais bei topografiniais nelygumais, atsiradusiais po sluoksnio perkėlimo.



1 pav. Bandinių kontaktinės struktūros suformuotos pagal apskritinę TLM (angl. CTLM) metodiką.



2 pav. Grafeno, esančio ant SiO_2 , 2D smailės padėties priklausomybė nuo G smailės padėties. Polinkio kreivės naudojamos pagal D. Yoon darbe patiektą informaciją [1].



3 pav. Raman smailių padėčių santykio (pos(2D)/pos(G)) priklausomybės žemėlapis, rodantis paviršiaus legiravimo nehomogeniškumą. Spektrų apdorojimui naudotas programinis kodas, parašytas Amir Zabet [2].

Literatūra

1. D. Yoon et al, *Phys. Rev. Lett.* 106 15 155502 (2011)
2. [2] Matlab script for Raman mapping written by Amir Zabet

JUTIKLIAI IŠ MANGANITŲ SLUOKSNIŲ MAGNETINIO SUVIRINIMO MONITORINGUI

Jonas Klimantavičius¹, Nerija Žurauskienė¹, Voitech Stankevič¹, Valentina Plaušinaitienė¹, Skirmantas Keršulis¹, Jörn Lueg-Althoff²

¹Fizinių ir technologijos mokslų centras, Medžiagotyros ir elektros inžinerijos skyrius
Saulėtekio al. 3, LT-10257 Vilnius, el. p.: jonas.klimantavicius@ftmc.lt, ²Institute of Forming Technology and Lightweight Components of TU Dortmund University, Baroper Str. 303, D-44227 Dortmund, Germany

Magnetinis impulsinis metalų suvirinimas (MIS) yra naujausias "šalto suvirinimo" procesas, leidžiantis suvirinti skirtingus metalus. Metalai suvirinami smūgio momentu, kai dėl didelio greičio (500 m/s eilės) ir keleto GPa slėgio nugalimos dviejų medžiagų atomus atstumiančios jėgos ir atstumas tarp dviejų detalių paviršiaus sumažėja iki tarpatominių dydžių. MIS procesu suvirinami skirtingi metalai, taip sukuriant naujas konstrukcinių sprendimų galimybes aviacijos ir automobilių pramonėje. Technologijos aktualumą rodo atliekamų tyrimų skaičiaus didėjimas [1]. Kaip parodo formulė (1), suvirinimo metu metalus veikiančios jėgos priklauso nuo magnetinio lauko stiprio [2].

$$F_z = -\frac{1}{2}\mu \frac{\partial(H^2)}{\partial z} \quad (1)$$

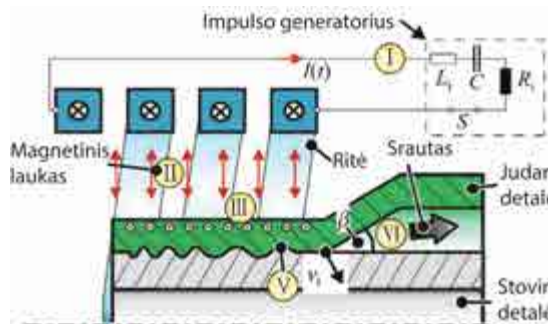
Suvirinimo kokybę lemia suvirinamų paviršių susidūrimo kampas ir susidūrimo greitis [3]. Norint apskaičiuoti šiuos parametrus, būtina žinoti tarp ritės ir suvirinamos detalės veikiančio magnetinio lauko pasiskirstymą impulso metu.

Efektyviam suvirinimo procesui atlikti atstumas tarp ritės (arba lauko koncentratoriaus) būna mažesnis už milimetrą, todėl magnetinio lauko matavimui reikalingi labai maži plačiu dinaminio diapazonu pasižymintys magnetinio lauko jutikliai – tokių jutiklių šiuo metu rinkoje nėra.

FTMC yra kuriami kolosalios magnetovaržos (CMR) B-skaliariniai magnetinio lauko jutikliai iš nanostruktūruotų manganitų sluoksnių. Parenkant auginimo sąlygas užauginami La-Sr-Mn-O sluoksniai, tinkantys trumpų magnetinių impulsų matavimui kambario temperatūroje [4]. Šių sluoksnių pagrindu pagamintais jutikliais buvo išmatuoti magnetinio lauko impulsai tarp koncentratoriaus ir detalės atliekant suvirinimo bandymus Dortmundo Technologijos universiteto Formavimo Technologijų ir Lengvųjų Komponentų

institute. Suvirinimas buvo atliktas 10-20 kHz dažnio impulsais. Impulsai matuoti CMR jutikliais, kurių varža nuskaityta 0,73 MS/s dažniu.

Šiuo metu kuriami jutikliai, kurie veiks signalo aukštesnėse nei kambario temperatūrose, o jų signalo nuskaitymo sparta bus 10 MS/s.



1 pav. Magnetinio suvirinimo procesų schema [3]. II- CMR jutiklis matuoja labai siauroje srityje tarp suvirinamos detalės ir ritės sukoncentruoto magnetinio lauko impulsą. Šis impulsas indukuoja Lorencio jėgą, sukeliančią suvirinimui reikalingą slėgį. Kiti pažymėjimai: I – srovė, III – judėjimo kryptis, IV – įkaitusių dalelių srautas.

Literatūra

1. Kapil, A. & Sharma, A. Magnetic pulse welding: An efficient and environmentally friendly multi-material joining technique. *J. Clean. Prod.* 100, 35-58 (2015).
2. Psyk, V., Risch, D., Kinsey, B. L., Tekkaya, A. E. & Kleiner, M. Electromagnetic forming - A review. *J. Mater. Process. Technol.* 211, 787-829 (2011).
3. Bellmann, J. *et al.* Measurement and analysis technologies for magnetic pulse welding: established methods and new strategies. *Adv. Manuf.* 4, 322-339 (2016).
4. Žurauskienė, N., Balevičius, S., Pavilonis, D. *et al.* Magnetoresistance and Resistance Relaxation of Nanostructured La-Ca-MnO Films in Pulsed Magnetic Fields. *IEEE Trans. Magn.* 50, 6100804 (2014).

LASER ASSISTED SELECTIVE COPPER SEEDING ON POLYMERS

Karolis Ratautas¹, Mindaugas Gedvilas¹, Ina Stankevičienė¹, Aldona Jagminienė¹,
Eugenijus Norkus¹, Nello Li Pira², Stefano Sinopoli³, Gediminas Račiukaitis¹

¹ Center for Physical Sciences and Technology, Savanoriu Ave. 231, Vilnius, LT-02300, Lithuania

² Centro Ricerche Fiat, Strada Torino 50, Orbassano (TO), 10043, Italy

³ BioAge Srl, Via dei Glicini 25, Lamezia Terme (CZ), 88046, Italy

Laser writing for selective plating of electro-conductive traces for electronics has several significant advantages, compared to conventional printed circuit board technology. Firstly, this method is faster and cheaper for prototyping. Secondly, material consumption is reduced, because it works selectively. However, the biggest merit of this approach is potentiality to produce moulded interconnect device (MID), enabling creation of electronic circuits on 3D surfaces, thus saving space, materials and cost of production.

Moulded interconnect devices (MID) offer the material, weight and cost saving by integration electronic circuits directly into polymeric components used in automotive and other consumer products. Lasers are used to write circuits directly by modifying the surface of polymers followed by an electroless metal plating.

Fabrication of circuit traces is the most challenging task in the Molded Interconnection Device (MID) technology. The technical difficulties which can be met when producing conductive traces are spatial selectiveness and adhesion of a plated metal. On the other hand, the technique used to manufacture circuit should be cost-effective as well. Considering this background, two methods of selective plating induced by a laser are presented here. This presentation consists of two parts. In the first part, we describe new PP and PC/ABS masterbatch with carbon-based additives for the laser direct structuring (LDS) approach. The second part presents a new technology for MID: Selective Surface Activation Induced by Laser (SSAIL). This new technique for selective surface plating enables to use standard plastics without any LDS additives. In both cases, metal deposition was performed by electroless plating. Nanosecond and picosecond lasers were applied for polymer surface treatment. The narrowest width of a copper-plated line was less than 23 μm . The Scotch tape test was applied to measure the adhesion of a plated metal.

There are several techniques of laser writing for selective plating of polymers: metal nano-ink printing, laser-induced forward transfer (LIFT) [1], laser-induced selective activation (LISA) [2] and laser direct structuring (LDS). However, all of them, except LDS, have a limitation when it is being applied on a curved surface.

For our investigation, we used LDS [3] and our new method: selective surface activation induced by laser (SSAIL). The main difference between LISA and SSAIL is that the second one is performed in atmospheric ambient. That simplifies the processing of 3D surface.

In the SSAIL method, pure plastics without any dopant (filler) can be used. SSAIL is a 3 step process. The first step is surface modification by laser, second – chemical activation of modified areas and the last step is electroless plating. In LDS method, special fillers are mixed in the polymer matrix. These fillers are activated during laser writing process and in the next processing step scanned area can be selectively plated with metals. There are some commercial materials available on the market for LDS; however, mostly they are based on expensive fillers, usually palladium. Considering the need of MID market, we are looking for the way to reduce the price of circuit traces manufacturing. Therefore, for LDS approach, we suggest new material: polypropylene with carbon-based additives, which increases the price of masterbatch much less than alternative additives used in polymers for LDS. While for the SSAIL method we used just commercial PC/ABS blend at all. Tests were performed using picosecond and nanosecond laser pulses. Different processing parameters (laser energy, scanning speed, the number of scans, pulse durations, wavelength and overlapping of scanned lines) were applied. A sheet resistance of selectively plated samples manufactured with different laser processing parameters and the same chemical bath conditions has been measured in order to determine the optimal regime of activation. Spatial selectivity tests showed high plating resolution. The narrowest width of plated line was less than 23 μm . The activation process was also investigated using Raman spectroscopy analysis. In Raman experiments, two spectra of treated and untreated plastic surfaces were compared. Finally, a prototype of the electronic circuit board was performed using both methods.

Literature

1. S. H. Ko, J. Chung, Y. Choi, C. P. Grigoropoulos, N. R. Bieri, T.-y. Choi, C. Dockendorf, and D. Poulidakos, "Laser-based hybrid inkjet printing of nanoink for flexible electronics," Proc. SPIE, 5713, 97-104, (2005).
2. Y. Zhang, H. Hansen, A. De Grave, P. Tang, and J. Nielsen, "Selective metallization of polymers using laser induced surface activation (LISA)—characterization and optimization of porous surface topography," Int. J. Adv. Manuf. Technol., vol. 55, pp. 573-580, 2011.
3. J. K. M. Huske, J. Miller, G. Esser, "Laser Supported Activation and Additive Metallization of Thermoplastics for 3D-MIDs," Proc. LANE, (2001).

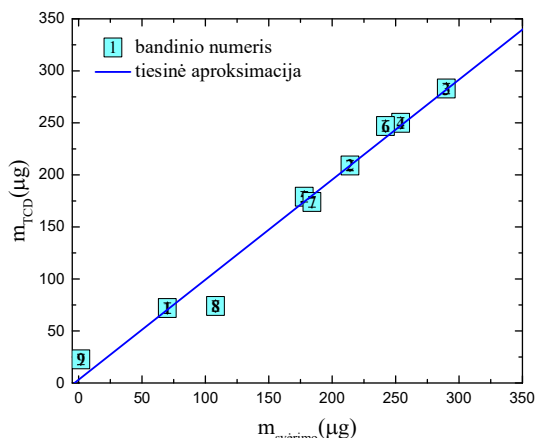
SPECIFINIO ^{14}C AKTYVUMO VERTINIMAS APŠVITINTAME REAKTORIAUS GRAFITE

Vidmantas Remeikis, Elena Lagzdina, Andrius Garbaras, Arūnas Gudelis,
Jevgenij Garankin, Rita Plukienė, Laurynas Juodis, Grigorijus Duškesas, Danielius Lingis,
Vladimir Abdulajev, Artūras Plukis

Fizinių ir technologijos mokslų centras, Branduolinių tyrimų skyrius
Savanorių pr. 231, LT-02300 Vilnius, el. p.: elena.lagzdina@ftmc.lt

Apšvitintas reaktoriaus grafitas sudaro didžiąją dalį radioaktyviųjų atliekų, kurias svarbu klasifikuoti atliekant branduolinės jėgainės išardymo darbus. Pagrindinis radioaktyvumo šaltinis apšvitintame grafite – neutronų aktyvacijos metu susidarantys ilgąamžiai radionuklidai. ^{14}C aktyvumas apšvitintame RBMK reaktoriaus aktyviosios zonos centrinės dalies grafite yra 10^5 Bq/g eilės, o reflektoriaus grafite dėl mažesnio neutronų srauto ^{14}C aktyvumas yra apytiksliai eile mažesnis [1]. Esant tokiam aktyvumui, paviršinis apšvitinto grafito saugojimas nėra galimas [2]. Pritaikius apšvitinto grafito pirminį apdorojimą, kuris sumažintų ^{14}C aktyvumą mažiausiai viena eile, paviršinis grafito saugojimas taptų galimas, o tai ženkliai sumažintų saugojimo kaštus.

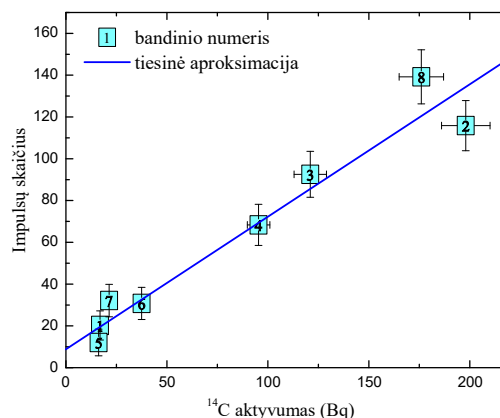
Siekiant optimizuoti apšvitinto grafito utilizavimą, būtini charakterizavimo metodai, kurie leistų greitai ir efektyviai nustatyti specifinį ^{14}C aktyvumą ypač mažos masės apšvitinto grafito bandiniuose.



1 pav. Anglies masės nustatymas - TCD matavimų bei svėrimo duomenų koreliacija ($R=0.97$).

Šio darbo metu pasiūlytas greitas metodas, leidžiantis nustatyti specifinį ^{14}C aktyvumą 1–100 μg grafito bandiniuose. Sudeginus grafito bandinį anglies masė nustatoma TCD (angl. *thermal conductivity detector*)

pagalba, o ^{14}C aktyvumas vertinamas naudojant LSC (angl. *liquid scintillation counting*) techniką bei puslaidininkinį PIPS (angl. *passivated implanted planar silicon*) (Canberra, USA) detektorį.



2 pav. ^{14}C aktyvumo vertinimas – LSC bei puslaidininkinio detektoriaus duomenų koreliacija ($R=0.94$).

Išvertinus TCD matavimų bei svėrimo duomenų koreliaciją, matyti, jog bandinio masė įvertinama pakankamai patikimai (1 pav.). ^{14}C aktyvumo vertinimo LSC metodu rezultatai taip pat koreliuoja su duomenimis, gautais naudojant puslaidininkinį detektorį (2 pav.).

Apibendrinant gautus rezultatus galima teigti, jog pasiūlytas metodas yra tinkamas greitai (apie 10 min trukmės) specifinio ^{14}C aktyvumo analizei mažesnės nei 1 μg masės grafito bandiniuose.

Literatūra

1. V. Remeikis, A. Plukis, R. Plukienė, A. Garbaras, R. Barisevičiūtė, A. Gudelis, R. Gvozdaite, G. Duškesas, L. Juodis, Nucl. Eng. Des. 240, 2697 (2010).
2. Derivation of activity limits for the disposal of radioactive waste in near surface disposal facilities, IAEA-Tecdoc-1380, (International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna, 2003).

¹³⁷Cs IR PLUTONIO IZOTOPŲ AKTYVUMO KONCENTRACIJŲ PASISKIRSTYMAS ĮVAIRIOSE GAMTINĖSE TERPĖSE

Laima Kazakevičiūtė, Zita Žukauskaitė, Benedikta Lukšienė, N. Tarasiuk, Rasa Gvozdaite

Fizinių ir technologijos mokslų centras, Branduolinių tyrimų skyrius
Saulėtekio al. 3, LT-10257 Vilnius, el. p.: laima.nedzveckienė@ftmc.lt

Gamtinėje aplinkoje ¹³⁷Cs ir Pu izotopai atsirado iš globalinių iškritų po brandulinio ginklo bandymų atmosferoje (1954–1955 m.) ir po Černobilio atominės elektrinės avarijos (1986 m.). Technogeniniai radionuklidai nusėdę ant dirvožemio paviršiaus sorbavosi dirvožemio dalelėse sudarydami naujus junginius. Šiuo atveju dirvos dalelės yra labai svarbus radionuklidų kaupimosi rezervuaras gamtinėje aplinkoje. Todėl labai svarbu išanalizuoti ¹³⁷Cs ir Pu izotopų elgesį gamtoje tyrinėjant dirvožemį kaip sudėtingą sistemą, sudarytą iš daug junginių, kurie turi įtakos radionuklidų akumuliacijai ir migracijai.

Fizikiniai ir cheminiai procesai lemia radionuklidų transportą ir pasiskirstymą dėl dirvožemyje esančio tirpalo ir jame vykstančios difuzijos, sorbcijos ir desorbcijos procesų, dėl kitų dirvožemyje vykstančių reakcijų su antropogeniniais radionuklidais. Aktinoidų migraciją taip pat lemia biomasės ir mechaninis persiskirstymas dėl dirvožemio erozijos ir vandens, kuris sunkiasi per dirvožemio daleles, ir gilyn neša tirpius junginius [1].

Kai dirvožemyje yra mažai natūralių organinių medžiagų, tai Pu mobilumas yra mažas. Pu, kuris yra asocijavęsis su koloidiniais makromolekuliniiais organiniais junginiais (MOJ), yra pernešamas iš užteršto dirvožemio difuzijos srautais audrų metu. Tai rodo, kad MOJ pasižymi dideliu giminingumu metalo jonams ir taip stipriai sorbuoja kaip geležies oksido mineralai, kurių dažniausiai nemažai būna dirvožemyje ar dugno nuosėdose, kurie pakeičia paviršiaus savybes. MOJ su skirtingomis funkcinėmis grupėmis jungiasi plutonį ir gali skirtingai sąveikauti su ta pačia mineraline faze taip paveikdami mobilizaciją/remobilizaciją. Fulvo ir humino rūgštys labai sumažina Pu sorbciją dėl susidarančio organinio hidro komplekso. Šis kompleksas yra stabilesnis nei Pu hidrolizės produktai kontroliuojami tokių gamtinių faktorių kaip pH ir joninė jėga. Siūlomi 4 mechanizmai, kurie veikia Pu mobilumą aplinkoje 1) susiformuoja trinaris kompleksas (mineralinė fazė-makromolekulinės organinės medžiagos-Pu) ant nejudraus paviršiaus 2) formuojasi nejudrus binarinis kompleksas (Pu izoliuotas nuo makromolekulinių organinių medžiagų 3) formuojasi mobilus Pu MOJ kompleksas 4) formuojasi

trinaris kompleksas su mobiliu neorganiniu koloidu. Todėl būtina turėti išsamias žinias apie įvairius geocheminius veiksnius, dėl kurių kinta Pu mobilumas ir fiksacija esant skirtingai organinių medžiagų koncentracijai [2].

Organinės medžiagos yra svarbus veiksnys lemiantis radiocezio mobilumą gamtinėse terpėse. Tyrimai parodė, kad tarp radiocezio ir organinių medžiagų yra koreliacija ir gaunama linijinė regresijos tiesė. Tai rodo, kad kuo daugiau yra organinių medžiagų bandinyje tuo geresnė koreliacija yra gaunama tarp organinių medžiagų ir Cs. Pripažinta, kad organinės medžiagos neatspindi pagrindinio vaidmens radiocezio sorbcijoje, bet parodo, kad organiniai junginiai prisideda prie radiocezio pernašos. Radiocezius, kuris yra asocijavęsis su organinėmis medžiagomis yra 10 kartų judresnis nei tas, kuris yra asocijavęsis su neorganinėmis medžiagomis. Tyrimai parodė, kad kuo daugiau yra kietųjų dalelių organinėse medžiagose, tuo daugiau jose būna cezio [3].

Ekspedicijų metu buvo surinktos dirvožemio bandinių kolonėlės iki 30 cm gylio. Laboratorijoje kolonėlių bandiniai buvo suskirstyti 1 cm storio sluoksniais. Kiekviename sluoksnyje pagal gama spektrometrinius matavimus įvertintos ¹³⁷Cs savitojo aktyvumo koncentracijos. Atlikus radiocheminę bandinių analizę ir alfa-spektrometrinius matavimus, nustatytos ²³⁸Pu ir ^{239,240}Pu savitojo aktyvumo koncentracijos.

Rezultatų analizė parodė, kad esant skirtingam kiekiui organinių medžiagų gaunama skirtinga abiejų radionuklidų sorbcija bandinyje. Šiame darbe atliktų tyrimų atveju Pu koreliacija su organinėmis medžiagomis nebuvo gauta, kadangi tyrimams buvo naudos tos gamtinės terpės, kuriose gausu organinių medžiagų. ¹³⁷Cs koreliacija su organinėmis medžiagomis buvo gera beveik visais tirtais atvejais, kadangi organiniai junginiai prisideda prie Cs pernašos procesų gamtinėse sistemose.

Literatūra

1. S. Mishra, S.K.Sahoo, P. Bossew, A. Sorimachi, S. Tokonami J. Geochem. Expl. 169, 163-186 (2016).
2. P.H. Santschi, C. Xu, S. Zhang, K.A. Schwehr, P. Lin, C.M. Yeager, D.I. Kaplan. J. Environ. Radioact. 171, 226-233 (2017).
3. M. Naulier, F. Eyrolle-Boyer, P. Boyer, J.M. Metrivier, Y. Onda. Sci. Total Environ. 579, 1560-1571 (2017).

BIOSORBENŲ METODO TAIKYMAS TIRIANT ^{137}Cs IR PLUTONIO IZOTOPŲ KONCENTRACIJAS GĖLO VANDENS SISTEMOSE

Zita Žukauskaitė, Benedikta Lukšienė, Laima Kazakevičiūtė,
Nikolaj Tarasiuk, Rasa Gvozdaite

Fizinių ir technologijos mokslų centras, Branduolinių tyrimų skyrius
Saulėtekio al. 3, LT-10257 Vilnius, el. p.: zita.zukauskaite@ftmc.lt

Pastaruoju metu didelis dėmesys skiriamas antropogeninės kilmės radionuklidų, patenkančių į aplinką po nelaimingų atsitikimų branduolinėse elektrinėse (jų veikimo metu ir po jų uždarymo), dėl netinkamo panaudoto branduolinio kuro saugojimo ir po branduolinio ginklo bandymų, koncentracijų nustatymui. Todėl šiuo metu vienas iš svarbiausių poreikių yra veiksmingų ir pigių metodų sukūrimas, kurie leistų greitai ir patikimai nustatyti radionuklidų koncentracijas gėlo vandens sistemose, bei leistų sumažinti jų koncentracijas, siekiant apsaugoti mus ir aplinką nuo jų žalingo poveikio.

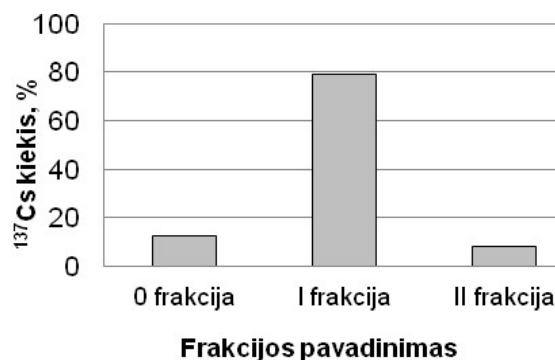
Šiuo metu vieni iš perspektyviausių, šalinant radionuklidus iš skystųjų terpių, yra neorganiniai sorbentai. Didelis dėmesys yra skiriamas sintetiniams sorbentams (magnetinės nanodalelės, geležies oksidai, titano silikatai, įvairūs heksaciano ferato junginiai) [1, 2, 3], natūraliems gamtiniams sorbentams (bentonitas, zeolitas, hidroksiapatitas, įvairiems molio mineralams, daug geležies turintiems mineralams) [4, 5]. Bandoma juos modifikuoti ir pritaikyti antropogeninės kilmės radionuklidų koncentracijų nustatymui gėlo vandens sistemose, bei vandens valymui. Taip pat bandoma radionuklidų sorbcijai pritaikyti ir bioatliekas (vaisių žievės, ryžių šiaudai ir t.t.) [6, 7, 8]. Toks gamtinių sorbentų pritaikymas leistų sumažinti antropogeninės kilmės radionuklidų nustatymo iš didelių gėlo vandens tūrio kainą bei žymiai sutrumpintų analizės laiką.

Šio tyrimo tikslas buvo paritaikyti biosorbentą – samanas, antropogeninės kilmės radionuklidų (^{137}Cs ir $^{239+240}\text{Pu}$, ^{238}Pu) sorbcijai iš didelio tūrio gėlo vandens.

Prieš atliekant tyrimus buvo nustatytas elementų kiekis ir vyraujantys anijonai samanos. Nustatytas pradinis antropogeninės kilmės radionuklidų kiekis sorbente. Ištirta sorbento sorbcijos priklausomybė nuo pH vertės, nustatytas radiocezio ir plutonio izotopų pasiskirstymas ląsteliniu lygmeniu.

Naudojant ekstrakcijos su NiCl_2 ir HNO_3 metodą, ištirtas radiocezio ir plutonio izotopų pasiskirstymas ląsteliniu lygmeniu samanos.

Gauti rezultatai parodė, kad 80 % ^{137}Cs yra susijusio su ląstelės sienelės išore (I frakcija) ir gali būti lengvai pakeičiamas ir tik apie 8 % ^{137}Cs yra ląstelės viduje – tirpioje formoje (II frakcija). Taip pat buvo nustatyta, kad apie 50 % (0 frakcija) plutonio izotopų yra samanų ląstelių viduje ir negali būti pašalinami naudojant šiuos reagentus.



1 pav. ^{137}Cs procentinis pasiskirstymas ląstelėse.

Atlikti modeliniai eksperimentai ir eksperimentai su samanų kolonėlėmis *in situ* parodė, kad samanos yra puikus sorbentas $^{239+240}\text{Pu}$ ir ^{238}Pu , tačiau netinka ^{137}Cs nustatymui iš didelio tūrio gėlo vandens.

Literatūra

1. C. Thammawong, P. Opaprakasit, P. Tangboriboonrat, P. Sreearunothai, J. Nanopart. Res. 15, 1689 (2013).
2. G. Lujanienė, S. Meleshevych, V. Kanibolotsky, J. Šapolaitė, V. Strelko, V. Remeikis, O. Oleksienko, K. Ribokaitė, T. Ščiglo, J. Radioanal. Nucl. Chem. 282, 787–791 (2009).
3. J.J. La Rosa, W. Burnett, S.H. Lee, I. Levy, J. Gastaud, P.P. Povinec, J. Radioanal. Nucl. Chem. 248(3), 765–770 (2001).
4. M. Galamboš, P. Suchanek, O. Roskopfova, J. Radioanal. Nucl. Chem. 293, 613–633 (2012).
5. G. Lujanienė, J. Šapolaitė, A. Amulevičius, K. Mažeika, S. Motiejunas, Czech. J. Phys. 56, Suppl. D, 103–110 (2006).
6. D. Ramesh, M. Latha Ramesh, IRACST –Engi. Sci. Technol.: Int. J. (ESTIJ), 6(1), 18–25 (2016).
7. F. E. Soetaredjo, A. Kurniawan, L. K. Ong, D. R. Widagdyo, S. Ismadji, RSC Adv. 4, 52856–52870 (2014).

TEMPERATŪRINIO MEDŽIŲ STRESO TYRIMAS AEROZOLIO MASIŲ SPEKTROMETRIJOS METODU

Julija Pauraitė, Genrik Mordas, Vidmantas Ulevičius

Fizinųjų ir technologijos mokslų centras, Aplinkotyros skyrius Saulėtekio al.
3, LT-10257 Vilnius, el. p.: julija.pauraitė@ftmc.lt

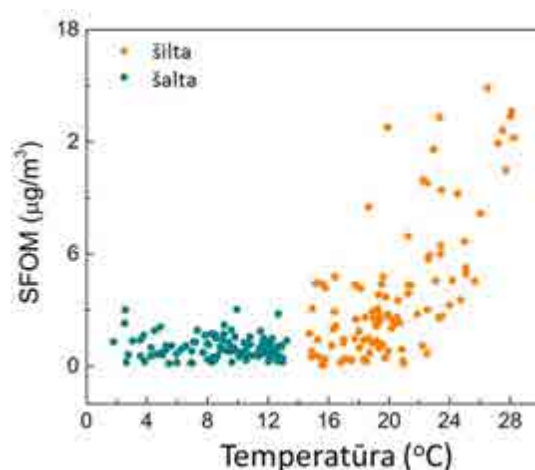
Aerozolio dalelės esančios atmosferoje daro didelę įtaką klimato kaitai ir žmogaus sveikatai. Didelę dalį aerozolio dalelių sudaro biogeninės kilmės antrinės organinės aerozolio dalelės (BSAO). BSAO gali susiformuoti atmosferoje vykstant biogeninės kilmės lakiųjų organinių junginių (BVOC) oksidacijos procesams. Miškai yra vienas pagrindinių BVOC emisijų šaltinių, o šių emisijų koncentracija priylgsta antropogeninių lakiųjų organinių junginių (VOC) koncentracijoms [1].

Šio tyrimo tikslas buvo išmatuoti ir ištirti aerozolio masių spektro pokyčius esant abiotinio streso sąlygoms. Siekiant ištirti BSAO emisijų pokytį dėl kaitros buvo atlikta aerozolio cheminės sudėties analizė. Aerozolio cheminės sudėties matavimams buvo naudojamas Aerozolio cheminės sudėties monitorius ACSM. Trijų dienų atgalinės oro masių trajektorijos buvo apskaičiuotos naudojantis Hibridinio Vienos Dalelės Lagranžo Integruoto Trajektorijų modelio 4 Versija (HY-SPLIT) [2]. Matavimai buvo atliekami Aukštaitijos integruotoje monitoringo stotyje (ISM LT01) 2013 – 2016 m. laikotarpiu, 30 min intervalu.

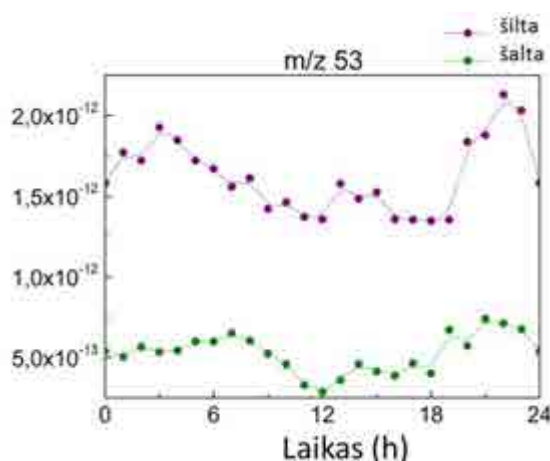
Dienos, kurių metu vyraavo švarios oro masės, buvo suskirstytos į šaltas ir šiltas dienas (vidutinė paros temperatūra atitinkamai 6.9 ir 17.4 °C). Tiriant submikroninės miškų organinio aerozolio masės (SFOM) pokyčius atrinktoms dienomis, nustatyta, kad SFOM koncentracija šiltomis dienomis buvo 4 kartus didesnė nei šaltomis (atitinkamai 4,7 ir 1,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Suvidurkinta SFOM koncentracijos parinė eiga įgijo didžiąją vertę nakties metu (nuo 20 iki 8 h). Taip pat buvo ištirta, kad SFOM koncentracija eksponentiškai didėja kylant temperatūrai (1 pav.).

Atrinktomis šiltomis ir šaltomis dienomis išmatuoti aerozolio masės spektrai buvo atitinkamai suvidurkinti. Nustatyta, kad aerozolio masės spektras kinta priklausomai nuo temperatūros: 42, 43, 45, 53 ir 59 m/z signalų intensyvumai šiltų dienų metu padidėjo 2 kartais, lyginant su šaltomis dienomis. Visiems išskirtiems m/z signalams būdinga parinė eiga, nulemta fotocheminių ir dalelių formavimosi procesų (2 pav.). Taigi, didėjant temperatūrai

išauga kai kurių m/z signalų intensyvumai bei padidėja SFOM koncentracija.



1 pav. SFOM koncentracijos priklausomybė nuo temperatūros šiltomis ir šaltomis dienomis.



2 pav. m/z 53 paros eiga šiltomis ir šaltomis dienomis.

Literatūra

1. Misztal et al. Scientific reports 5, 1–10 (2015).
2. NOAA, <http://www.arl.noaa.gov/ready.htm>.

TDCR METODO TAIKYMAI RADIONUKLIDŲ AKTYVUMUI MATUOTI

Lina Gaigalaitė, Rūta Druteikienė, Benedikta Lukšienė, Rasa Gvozdaite, Zita Žukauskaitė, Šarūnas Buivydas, Paulius Butkus, Inga Gorina, Laima Nedzveckienė, Arūnas Gudelis, Laurynas Juodis, Artūras Plukis

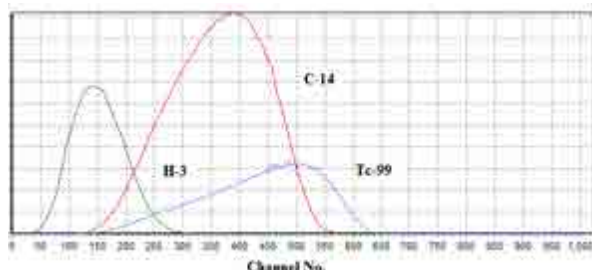
Fizinių ir technologijos mokslų centras, Metrologijos skyrius, Branduolinių tyrimų skyrius
Savanorių pr. 231, LT-02300 Vilnius, el. p.: lina.gaigalaite@ftmc.lt

Radionuklidų metrologijoje naudojamas trigubų ir dvigubų sutapčių santykių metodas (TDCR) užtikrina didelį savitojo aktyvumo vertės tikslumą standartizuojant beta spindulius ir elektrono pagavos būdu skylančius nuklidus [1]. Jis yra įdiegtas Nacionalinių metrologijos institutų laboratorijose kaip pirminis metodas, arba metodas, kurį taikant, nereikalinga kalibravimo procedūra. Ši aplinkybė leidžia pasiekti didesnę tikslumą, lyginant su klasikiais metodais, nes nelieka neapibrėžties sando, kurį lemia kalibravimo koeficiento vertės nustatymas.

Taikant TDCR metodą, FTMC iki 2017 m. buvo standartizuoti šie radionuklidai: H-3, C-14, Cl-36, Ni-63, Sr-90 (pusiausvyroje su Y-90), Tc-99 ir I-129 [2]. Standartizuotų radionuklidų fizikinės ir metrologinės charakteristikos apibendrintos 1 lentelėje.

1 lentelė. Radionuklidų charakteristikos.

Radio-nuklidas	E_{max} (keV)	Šuolio tikimybė (%)	Neapibrėžtis (%) $k=1$
^3H	18,591 (1)	100	0,62
^{14}C	156,476 (4)	100	0,30
^{36}Cl	709,53 (5)	98,1 (1)	0,17
^{63}Ni	66,980 (15)	100	0,60
^{90}Sr	545,9 (14)	100	0,29
^{90}Y	2278,7 (16)	99,983 (7)	0,29
^{99}Tc	293,8 (14)	99,99855 (30)	0,27
^{129}I	151,2 (11)	99,5 (5)	0,33

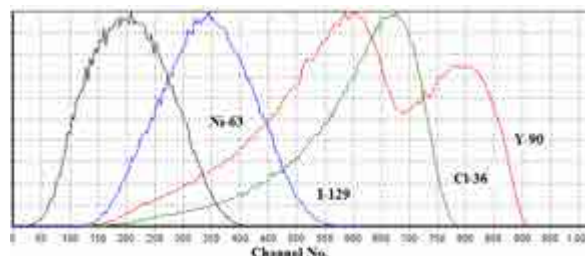


1 pav. Tričio (H-3), radioanglies (C-14) ir Tc-99 etaloniniai beta spektrai.

Radionuklidų standartizavimo metu gaunama tirpalo formos pagrindinė medžiaga. Ji yra patogi kalibruoti blyksnių tirpalų skaitiklį su dviem fotodaugintuvais.

Naudojant TDCR metodu standartizuotą pagrindinę medžiagą pasiekama pakankamai tiksli blyksnių tirpalų skaitiklio kalibravimo koeficiento vertė.

Šiame darbe buvo naudojamas ypač žemo fono blyksnių tirpalų skaitiklis Quantulus-1220. Radionuklidų beta spektrai pavaizduoti 1 pav. ir 2 pav. Jie laikytini etaloniniais spektrais.



2 pav. Beta spindulių Cl-36, Ni-63, Sr-90 (Y-90) ir I-129 etaloniniai spektrai.

Skaitikliu Quantulus-1220 atlikti tiriamųjų dalių aktyvumo matavimai. Tiriamosios dalys paruoštos iš branduolinio reaktoriaus eksploatacinių atliekų radiocheminių procedūrų metu išskyrus norimus radionuklidus. Lyginant išskirtų preparatų beta spektrus su etaloniniais užtikrinamas pakankamas matavimų tikslumas ir įvertinama priemaišų įtaka.

Tyrimų rezultatai naudojami nustatant branduolinio objekto būdingųjų radionuklidų koreliacinius sąryšius, kurie yra svarbūs eksploatacijos nutraukimo metu ir pagrindžiant atliekų saugojimo strategiją.

Reikšminiai žodžiai: TDCR metodas, kalibravimas, branduolinis reaktorius, eksploatacinės atliekos.

Literatūra

1. R. Broda, P. Cassette, and K. Kossert, *Metrologia* **44**, S36 (2007).
2. A. Gudelis, L. Gaigalaitė, I. Gorina, and P. Butkus (2017) Use of the TDCR method for standardization of radionuclides in the FTMC, *priimtas spaudai*.

TECHNOGENINIŲ RADIONUKLIDŲ NUSTATYMAS BRANDUOLINIO REAKTORIAUS GRAFITO MAŽO TŪRIO MĖGINIUOSE

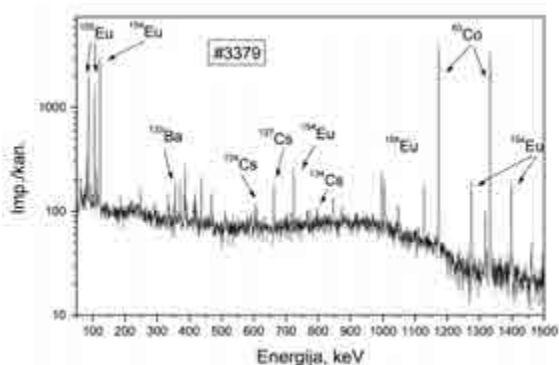
Vladimir Abdulajev, Vidmantas Remeikis, Elena Lagzdina, Andrius Garbaras,
Arūnas Gudelis, Jevgenij Garankin, Rita Plukienė, Laurynas Juodis, Grigorijus Duškesas,
Danielius Lingis, Artūras Plukis

Fizinių ir technologijos mokslų centras, Metrologijos skyrius
Savanorių pr. 231, LT-02300 Vilnius, el. p.: vladimir.abdulajev@ftmc.lt

Branduolinio reaktoriaus grafitas yra pavojingų radioaktyviųjų atliekų šaltinis, o aktyvuoto grafito nuklidinės sudėties tyrimas yra ypač aktualus branduolinių jėgainių išmontavimo atžvilgiu, kadangi nutraukus reaktoriaus eksploatavimą jis tiesiogiai nustato radioaktyviųjų atliekų tvarkymo technologijų pasirinkimą [1].

Tyrimo tikslas buvo nustatyti grafito mėginių nuklidinę sudėtį γ -spektrometriniu metodu ir pritaikius ardančiąją analizę, išmatuoti radionuklidų savitąjį aktyvumą ir ištirti jų pasiskirstymo mėginiuose vienalytiškumą.

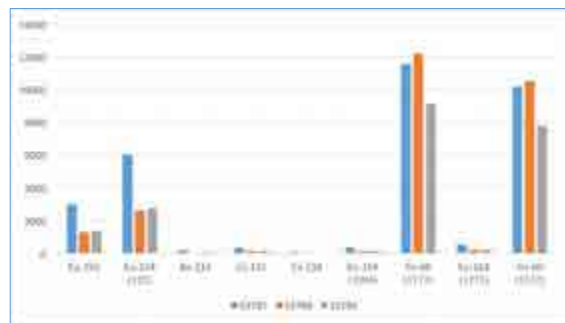
Nuklidinę sudėtį įvertinti neardančiosios analizės metodu buvo naudojamas kalibruotas gama spektrometras su gryno germanio detektoriumi (HPGe) su šuliniu.



1 pav. Grafito mėginio Nr. 3379 gama spektras.

Atlikus kokybinę spektro analizę (1 pav.) buvo aptikti šie radionuklidai: ^{155}Eu , ^{133}Ba , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{154}Eu ir ^{60}Co .

Atliekant vienalytiškumo tyrimo kiekybinę analizę operuota santykiniais vienetais, buvo tiriamas mėginių gama spektrų visiškų sugerties smailių intensyvumas, neatliekant korekcijos dėl sutapčių efekto. Mėginių #3379 ir #7795 kiekybinės analizės rezultatai yra pateikti 2 pav.



2 pav. Grafito mėginio Nr. 3379 fragmentų gama spektrų visiškų sugerties smailių intensyvumas.

Pastebima, kad dominuojantis radionuklidas visuose devyniuose mėginiuose yra aktyvacijos produktas ^{60}Co . Taip pat pastebimas gama spindulių pasiskirstymo nevienalytiškumas mėginiuose, rodantis, kad skirtinguose to paties mėginio fragmentuose radionuklidų aktyvumo santykis (pvz., $^{154}\text{Eu}/^{60}\text{Co}$, $^{155}\text{Eu}/^{60}\text{Co}$) nėra pastovus dydis.

Grafito mėginių ardančioji analizė buvo atliekama pasitelkus elementinį analizatorių, ^{14}C aktyvumas buvo nustatomas LSC metodu. Rezultatai pateikti 1 lentelėje.

1 lentelė. Mėginių kokybinė analizė.

Mėginys	Aktyvumas, Bq		$^{14}\text{C}/^{60}\text{Co}$ aktyvumų sant.
	^{60}Co	^{14}C	
1	0.09 ± 0.03	16.9 ± 1.1	188 ± 49
2	0.11 ± 0.03	21.4 ± 1.3	195 ± 41
3	1.6 ± 0.2	198 ± 12	124 ± 14

Literatūra

1. V. Remeikis, A. Plukis, R. Plukienė, A. Garbaras, R. Bariseviciute, A. Gudelis, R. Gvozdaite, G. Duskesas, L. Juodis, Method based on isotope ratio mass spectrometry for evaluation of carbon activation in the reactor graphite, Nuclear Engineering and Design, **240** 2697-2703, (2010).

SPECIFINĖS MIGRACIJOS IŠ POLIPROPILENO TYRIMAS, NAUDOJANT DUJŲ CHROMATOGRAFIJĄ

Toma Petrulionienė, Evaldas Naujalis

Fizinių ir technologijos mokslų centras, Metrologijos skyrius
Saulėtekio al. 3, LT-10257 Vilnius, el. p.: toma.petrulioniene@gmail.com

Plastikai ir jų kompozitai yra plačiai naudojami maisto pakuotėms gaminti. Pakuočių gaminimo metu yra dedami priedai, siekiant pagerinti plastiko savybes – elastingumą, lankstumą, spalvą, atsparumą, patvarumą ir kt. savybes. Tiek monomerai, tiek plastiko gaminimo metu dedami priedai yra mažos molekulinės masės ir gali migruoti iš pakuotės į maisto produktus, kintant laikymo sąlygoms ar trukmei.

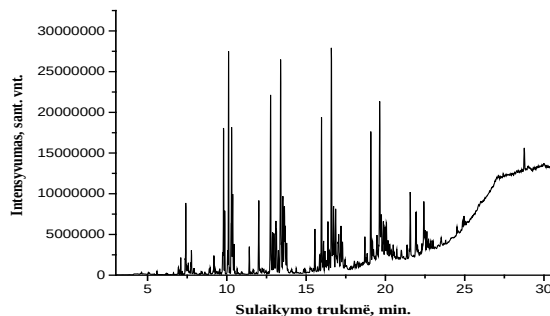
Šiuo metu Komisijos Reglamentu Nr. 10/2011 ir jo papildiniu (ES) 2016/1416 yra reglamentuojama apie 900 leidžiamų naudoti monomerų, kitų pradinių medžiagų, mikrobinės fermentacijos būdu gautų makromolekulių, priedų ir polimerų gamybos pagalbinių medžiagų. Yra sukurta tik apie 50 ir standartizuota apie 20 analitinių metodų medžiagų migracijai nustatyti, tačiau dauguma jų tinka tik modelinėms maisto terpėms tirti.

Didelė problema yra nesąmoningai (netiesiogiai) pridėtos medžiagos (*angl. NIAS – non-intentionally added substances*). Tokios medžiagos yra cheminiai junginiai, kurie galimai migruoja iš plastikinių medžiagų, tačiau nebuvo naudojamos plastiko gaminimo metu. Dažniausiai jų atsiradimas yra neaiškus nei gamintojui, nei žaliavų tiekėjui. NIAS medžiagos gali susiformuoti iš įvairių šaltinių, įskaitant depolimerizaciją, pradinių medžiagų grynumą, nepageidaujamų reakcijų produktų bei teršalų, susidariusių plastiko perdirbimo metu [1].

Polipropilenas yra vienas labiausiai naudojamų poliolefinų dėl savo savybių, kurios leidžia jį panaudoti komerciniams gaminiams kaip pluoštą ar plėvelę. Šis plastikas taip pat pasižymi geru cheminiu atsparumu, mažu tankiu ir aukštu atsparumu tempimui [2]. Atsižvelgiant į tai, šiame darbe atlikta plačiai maisto pakavime Lietuvoje naudojamo polipropileno gaminių (konkrečiai saldinių pakuočių) analizė, siekiant išsiaiškinti pagrindinius migrantus ir jų šaltinius.

Naudota įranga – termodesorbicija su dujų chromatografija ir masių spektrometrija (TD-GC/MS). Polipropileno gaminiai – pasirinktos skirtingos tamsios spalvos ir bespalvės PP pakuotės, skirtos šokoladinių saldinių pakavimui dėžutėse – buvo smulkinami iki $-0,2\text{cm} \times 1,0\text{cm}$ dydžio ir kemšami į stiklinius vamzdelius, kurie naudojami termodesorbicijai. Tyrimų metu optimizuotos termodesorbicijos ir chromatografinės sąlygos. Termo-

desorbicija vykdoma 60 min, mėginį kaitinant 80°C ir palaikant 60 mL/min He dujų srautą. Gaudyklė vėsinama iki -15°C . Sistemos temperatūra – 240°C . Naudota *Rtx®-1 w/Integra-Guard® (Crossbond® 100 % dimetilpolisiloksanas)* kolonėlė ($60\text{ m} \times 0,32\text{ mmID} \times 1\text{ }\mu\text{m df}$), esant 2,7 mL/min He dujų srauto greičiui. Temperatūrinė programa: pradinė temperatūra 40°C , laikoma 10 min.; 5°C/min greičiu keliama iki 125°C ; 30°C/min greičiu keliama iki 240°C ir paskui laikoma dar 5 min. Buvo atliekamas masių skenavimas 40-400 m/z intervale. Gautos chromatogramos pavyzdys pateiktas 1 pav.



1 pav. Tamsios polipropileno pakuotės analizės chromatograma.

Atliktos kokybinės analizės metu, naudojantis *NIST MS Search 2.0* bibliotekos duomenimis, nustatyti pagrindiniai potencialūs migrantai, kurie išskirstyti į pagrindines grupes: rūgštys, alkoholiai, aldehydai, ketonai, eteriai, esteriai, hlogeninti junginiai bei kiti linijinės bei šakotos struktūros angliavandeniliai. Aptikti potencialūs migrantai tamsiose PP pakuotėse palyginti su gautais bespalvėse PP pakuotėse.

Šiame darbe taip pat aptarti PP pakuotėse aptiktų potencialių migrantų šaltiniai, kurie nėra tiksliai žinomi, tačiau gali būti siejami su priedų (stabilizatorių, antioksidantų, plastifikatorių, lubrikantų, pigmentų ir kitų), kurie naudojami plastikų gamybos metu, skilimo ir veikimo šalutiniais produktais, taip pat su natūraliais plastikų senėjimo veiksniais bei plastiko laikymo ir naudojimo sąlygomis.

Literatūra

1. Birgit Geueke, Food Packaging Forum, 2013, DOI: 10.5281/zenodo.33514.
2. X.L. Garcia-Montelongo, A. Martinez-de la Cruz, S. Vazquez-Rodriguez, Leticia M. Torres- Martinez, Materials Research Bulletin 51 (2014) 56-62.

Au NANODALELIŲ, NUSODINTŲ ANT ANGLIES PAVIRŠIAUS NAUDOJANT SKIRTINGUS NUSODINIMO METODUS, ELEKTROKATALIZINIO AKTYVUMO PALYGINIMAS

Daina Upskuvienė, V. Kepenienė, J. Vaičiūnienė, A. Selskis,
L. Tamašauskaitė-Tamašiūnaitė, E. Norkus

Fizinių ir technologijos mokslų centras, Katalizės skyrius
Saulėtekio al. 3, LT-10257 Vilnius, el. p.: daina.upskuviene@ftmc.lt

Nanotechnologijos jau keletą dešimtmečių yra viena iš populiariausių ir plačiausiai tyrinėjamų mokslinių sričių. Ypatingai daug dėmesio skiriama metalų nanodalelėms, turinčioms išskirtines, kitokias nei didelių dimensijų metalų savybes, kurias galima plačiai pritaikyti įvairiose technologijose ir tyrimo metoduose. Šioje nanodalelių sintezės srityje siekiama panaudoti tokius naujus nanodalelių sintezės metodus, kurie padėtų kontroliuoti nanodalelių dydį ir formą. Taip pat siekiama, kad būtų gautos mažo toksiškumo ir kuo mažesnės kainos medžiagos [1]. Tarp žinomų koloidinių nanodalelių, nano dydžio aukso (Au) nanodalelės yra plačiai studijuojamos dėl jų optinių, spektroskopinių ir katalizinių savybių. Literatūroje buvo pasiūlyta keletas aukso nanodalelių sintezės metodų [2]. Vienas iš populiariausių ir nuodugniausiai ištirtų aukso nanodalelių sintezės metodų yra Turkevich metodas, kur aukso nanodalelės redukuojamos naudojant trinatrio citratą [3].

Atsižvelgiant į literatūrinius duomenis, šiame tyrime aukso nanodalelių gavimui buvo panaudotas modifikuotas Turkevich metodas. Pirmiausia koloidinės Au nanodalelės buvo redukuotos iš Au^{3+} (HAuCl_4) į Au^0 su trinatrio citratu ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) vandeniniame tirpale [3]. Vėliau, gautos Au nanodalelės buvo nusodintos ant anglies paviršiaus, naudojant adsorbcijos ir sintezės mikrobangų poveikyje metodus. Antru atveju, aukso nanodalelės buvo nusodintos ant anglies paviršiaus reduktoriumi naudojant glioksilo rūgštį $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_3$.

Aukso nanodalelių dydis, forma ir sudėtis buvo nustatyta, naudojant Lauko Emisijos Skenuojančios Elektronų Mikroskopijos (FESEM) ir Indukuotos Plazmos Optinės Emisijos Spektrometrijos metodus (ISP-OES). Gautų aukso nanodalelių elektrokatalizinis aktyvumas buvo tirtas gliukozės oksidacijos reakcijai.

Nustatyta, kad priklausomai nuo paruošimo metodo ant anglies nusėda 10 – 250 nm dydžio aukso nanodalelės. Elektrokatalizinės aukso nanodalelių savybės apibendrintos ir lyginamos remiantis gautais elektrocheminiais duomenimis.

Literatūra

1. R.B. Hurtado et al. *Physics Letters A* **380** p. 2658-2663 (2016).
2. S. Nath et al. *Indian Journal of Chemistry* **43A** p. 1147-1151. (2004).
3. P. Georgiev et al. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* **434** p. 154-163. (2013).

METALO KOMPLEKSNIO DAŽIKLIO ŠALINIMAS IŠ VANDENINIŲ TIRPALŲ GELEŽIES(III) OKSIDU/HIDROKSIDU

Edita Zubrytė, Danutė Kaušpėdienė, Jūratė Vaičiūnienė, Audronė Gefenienė

Fizinių ir technologijos mokslų centras, Cheminių technologijų skyrius
Saulėtekio al. 3, LT-10257 Vilnius, el. p.: edita.zubryte@ftmc.lt

Dažikliai plačiai naudojami įvairiose pramonės šakose, gamybos metu susidaro spalvotos nuotekos. Metalų kompleksiniai dažikliai – tai organiniai junginiai, kurių sudėtyje yra kenksmingų sunkiųjų metalų jonų. Tai sunkiai biologiškai skaidomos medžiagos, kurių sudėtyje yra aromatinių heterociklinių žiedų. Adsorbcija ir fotokatalitinis skaidymas yra efektyviausi dažiklių šalinimo iš nuotekų metodai. Dažiklių adsorbcijai tirti naudojami ir gamtinės kilmės [1, 2], ir laboratorijose susintetinti sorbentai [3].

Šiame darbe chromo kompleksiniam dažikliui Lanasy Navy M-DNL (LN) šalinti iš vandeninių tirpalų kaip adsorbentas naudotos kietos atliekos, susidarantios šalinant geležies ir mangano junginius iš požeminio gėrimui skirtą vandens. Kietas atliekas išdžiovinus kambario temperatūroje ir susmulkinus, gauta rudų miltelių pavidalo medžiaga. Rentgeno spindulių difrakcijos (XRD) ir Rentgeno spindulių fluorescenciniai (XRF-WD) tyrimai parodė, kad šios atliekos yra amorfinė medžiaga, kurios pagrindinė sudėtinė dalis – geležies(III) oksidas-hidroksidas (geležies masės dalis 43,5 %).

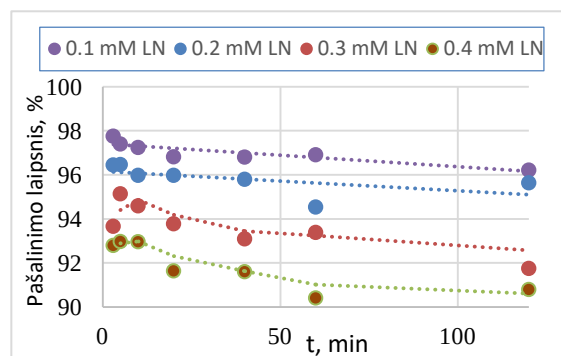
Tyrimais, atliktais statinėmis sąlygomis, nuolat maišant tirpalą, nustatyta, kad apie 92 – 97 % dažiklio iš tirpalo pašalinama per pirmąsias 3 – 5 min., kai į sorbcinę sistemą įpilama 0,01 M FeCl_3 tirpalo. Nustatyta FeCl_3 druskos kiekio, temperatūros, pradinio tirpalo pH ir dažiklio koncentracijos įtaka sorbcijos kinetikai. Didžiausias dažiklio spalvos pašalinimo laipsnis pasiektas, kai skystoje fazėje Fe(III) jonų ir dažiklio molinis santykis yra 1:40 (1 lentelė). Dažikliu užterštam vandeniui valyti labiausiai palanki kambario temperatūra ir rūgštinė terpė (pH 3). Didinant temperatūrą didėja ir desorbcijos greitis, o esant didesnėms pH vertėms (pH > 3) susidaro palankios sąlygos Fe^{3+} jonams pereiti į kitas formas, susidaryti geležies(III) hidroksido nuosėdoms. Didinant dažiklio koncentraciją tirpale nuo 0,1 iki 0,4 mM, jo spalvos pašalinimo laipsnis sumažėjo nuo 97,8 iki 93 %, kai valymo trukmė 5 min. (1 pav.). Iš 1 pav. matyti, kad nepriklausomai nuo dažiklio

koncentracijos, užterštas vanduo išvalomas per trumpą laiką (3 – 5 min.), praėjus 120 min. nuo sorbento ir valomo tirpalo sąveikos pradžios, dažiklio pašalinimo laipsnis nebepadidėja, apie 1 – 2 % sorbuotų teršalų pereina atgal į tirpalą. Teigiamas geležies(III) chlorido druskos poveikis šalinant dažiklį gali būti paaiškintas jos koaguluojančiu veikimu, be to, jos sudėtyje esantys sorbentui giminingi Fe^{3+} jonai yra linkę adsorbuotis kietų smulkių Fe(III) oksido/hidroksido dalelių paviršiuje, suteikdami joms perteklinį teigiamą krūvį. Tai palanku anijoninio dažiklio sorbcijai.

Atliktų tyrimų rezultatai rodo, kad ekologiška, atsinaujinanti medžiaga – geležies(III) oksidas/hidroksidas, susidarantis geriamojo vandens ruošimo įmonėse, gali būti panaudotas vandenims, užterštiems metalo kompleksiniu dažikliu Lanasy Navy M-DNL, valyti.

1 lentelė. Dažiklio pašalinimo laipsnio priklausomybė nuo FeCl_3 ir dažiklio molinio santykio.

$n_{\text{FeCl}_3}/n_{\text{LN}}$	Dažiklio pašalinimo laipsnis, %			
	Sąveikos trukmė, min			
	3	5	10	20
1 : 115	91,7	92,3	91,3	90,3
1 : 53	94,8	94,1	92,2	90,5
1 : 40	96,9	96,4	95,9	95,8



1 pav. Dažiklio pašalinimo laipsnio priklausomybė nuo dažiklio koncentracijos ir šalinimo trukmės.

Literatūra

1. M. M. Hamed, I. M. Ahmed, and S. S. Metwally, J. Ind. Eng. Chem. **20**, 2370 (2014).
2. J. Ool, L. Y. Lee, B. Y. Z. Hiew, S. Thangalazhy-Gopakumar, S. S. Lim, S. Gan. Bioresour. Technol. **245**, 656 (2017).
3. J. P. Dhal, B. G. Mishra, G. Hota. Int. J. Environ. Sci. Technol. **12**, 1845 (2015).

LAIDAUŠ POLIMERINIO SLUOKSNIO TYRIMAS IR TAIKYMAS IŠMANIAI TEKSTILEI

Monika Kirsnytė, Audronė Sankauskaitė, Paulius Ragulis, Arūnas Stirkė

Fizinių ir technologijos mokslų centras, Medžiagotyros ir elektros inžinerijos skyrius
Saulėtekio al. 3, LT-10257 Vilnius, el. p.: monika.kirsnyte@ftmc.lt

Organiniai stambiamolekuliniai junginiai, kurie pasižymi puslaidininkinėmis savybėmis [1] vis labiau traukia mokslininkų bei pramonės atstovų dėmesį. Polipirolas (PPy) yra vienas iš labiausiai ištirtų elektrai laidžių polimerų, kuris dėl savo stabilumo atmosferoje, pigios bei paprastos sintezės, gali būti naudojamas audinių inžinerijos, lanksčios elektronikos bei biosensorių gamybos srityse [2]. Šiame darbe aptarsime laidaus PPy sluoksnio sintezę ir tyrimus ant tekstilinio audinio bei šios plonasluoksnės dangos pritaikymo galimybes kuriant išmaniąją tekstilę.

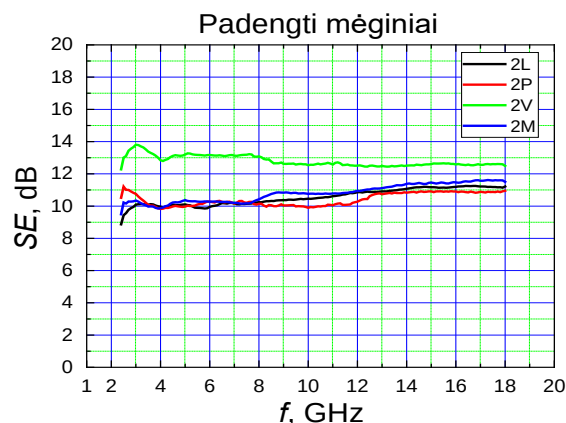
Eksperimentui pasirinkti 4 skirtingi 100 % tekstilinių audinių substratai: linas, polietėris, vilna ir medvilnė. Bandiniai, kurių matmenys 20x30 cm buvo padengiami PPy sluoksniu naudojant specialius šablonus (*eng. screen printing*): kvadratėlių modelį, kai langeliai 9x9 mm ploto ir dengiant visą paviršiaus plotą. Atlikta pirola monomero radikaline polimerizacijos reakcija su oksidatoriumi geležies chloridu (FeCl_3) santykiu 1:2.33, kambario temperatūroje. Adhezyvas polivinilalkoholis (PVA) naudojamas užtikrinti tekstilinio substrato ir laidaus polimerinio sluoksnio sukibimą. Visi eksperimentiniai bandiniai džiovunami "TSOF IM 350" kaitinimo krosnyje 100 °C, 5 min.

Atliekama laidaus sluoksnio analizė prieš ir po 5 skalbimo ciklų. Ekranavimo faktorius ir pusėjimo trukmė nustatyta, panaudojant tekstilės medžiagų krūvio nustatymo prietaisą ICM-1. Mėginiai kondicionuoti 24h kambario temperatūroje (1 lentelė).

1 lentelė. Elektrostatinių savybių tyrimas

Ekranavimo faktorius, S		
Substratas	Prieš apdorojimą	Po 5 skalbimo ciklų
Linas	0,98	0,95
Poliesteris	0,85	0,85
Vilna	0,94	0,93

Laidaus sluoksnio savitoji paviršinė varža išmatuota teraohmetru. Nustatytos elektromagnetinio ekranavimo savybės beaidėje kameroje 2–20 GHz dažnių ruože (1 pav.).



1 pav. PPy sluoksnio ekranavimo savybių kitimas prie skirtingų dažnių ruožų ant 2L – lino, 2P – poliesterio, 2V – vilnos, 2M – medvilnės audinių substratų.

Geriausiomis elektrostatinėmis savybėmis pasižymėjo laidus polimero sluoksnis ant vilnonio audinio. Ekranavimo faktorius net po 5 skalbimo ciklų nukrito tik per 0,1 S, o PPy laidaus sluoksnio paviršiaus ekranavimo efektyvumas siekė 14 dB, 2–20 GHz dažnių intervale. Rezultate galima teigti jog tokie laidūs polimeriai sluoksniai gali būti naudojami išmaniojoje tekstilėje, kaip RFID antenos, ar sensoriai dėl savo mažai kintančių elektrostatinės savybių ant skirtingų audinių substratų.

Literatūra

- MacDiarmid, A.G., "Synthetic metals": a novel role for organic polymers. *Current Applied Physics*, 2001. 1(4): p. 269-279.
- Wang, Y., et al., A highly stretchable, transparent, and conductive polymer. *Science Advances*, 2017. 3(3).

SUPERPARAMAGNETINIŲ KOBALTO FERITO NANODALELIŲ SINTEZĖ, CHARAKTERIZAVIMAS IR ANTIMIKROBINIŲ SAVYBIŲ TYRIMAS

Rokas Žalnėravičius¹, Algimantas Paškevičius² ir Arūnas Jagminas¹

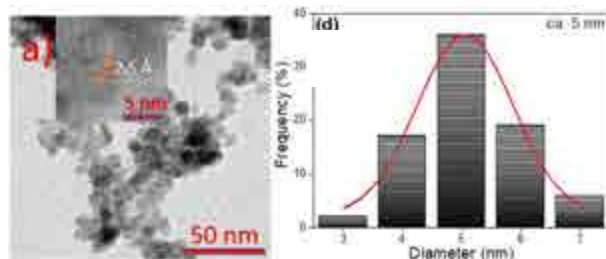
¹Fizinių ir technologijos mokslų centras, Elektrocheminės medžiagotytos skyrius
Saulėtekio al. 3, LT-10257 Vilnius, el. p.: rokas.žalnėravičius@ftmc.lt

²Gamtos tyrimų centras, Biodestruktorių tyrimų laboratorija
Akademijos g. 2, LT-08412 Vilnius

Šių dienų mokslinėje literatūroje skirtoje įvairių medžiagų tokių kaip: rūbai, medicininiai instrumentai, impantai, maisto pakuotės, kateteriai ir kt. apsaugai nuo mikroorganizmų vis dar dominuoja idėjos, skirtos sidabro panaudojimui esamai problemai spręsti. Itin daug Ag nanodalelių šiuo metu naudojama įvairiausių kremų ir kitų odos priežiūros priemonių sudėtyse. Tačiau tauriųjų metalų eikvojimas įvairių paviršių dekoracijai neišvengiamai padidina ir galutinę produkto kainą, todėl tyrėjų grupės vis dar ieško naujų, antimikrobinėmis savybėmis pasižyminčių junginių iš kurių pakankamas dėmesys skiriamas ir kobalto feritams (CoFe_2O_4) [1].

Šiandieninėje mokslo literatūroje išskiriami du pagrindiniai ir dažniausiai naudojami feritinių nanodalelių (ND) sintezės metodai: hidroterminis ir terminio skaldymo. Pirmoji sintezė dažniausiai vyksta šarminiuose tirpaluose esant divalenčio metalo jonams Me(II) , kur $\text{Me} = \text{Zn}, \text{Ni}, \text{Co}, \text{Mn}, \text{Fe}$ bei $\text{Me(Fe}_{\text{III}})$. Antrosios sintezės metu paprastai naudojamos metalorganinės druskos, bei aukštos virimo temperatūros tirpikliai. Siekiant gauti monodispersines ND į reakcijos mišinį papildomai įnešamos, stabilizuojančios medžiagos, tokios kaip citrinų rūgštis, askorbo rūgštis, natrio citratas, amino rūgštys. Šiame darbe buvo siekiama susintetinti panašaus dydžio Fe-pakeisto $\text{Co}_x\text{Fe}_{1-x}\text{Fe}_2\text{O}_4$, bei skirtingos paviršiaus apsuptyies kobalto ferito ND. Tokios dalelės buvo charakterizuotos, Raman, TEM AFM metodais nustatyta jų fazinė sudėtis, ištirtos antimikrobinės savybės eukariotinių *Candida parapsilosis*, *Candida albicans* bei prokariotinių *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* mikroorganizmų apsuptyje.

Panašaus dydžio (5, 6,3 ir 6,4 nm skersmens) Fe-pakeisto kobalto ferito nanodalelės susintetintos hidroterminiu metodu iš praskiestų CoCl_2 , FeCl_3 ir FeSO_4 tirpalų. Gautų dalelių dydis įvertintas peršviečiama elektronine mikroskopija (1 pav.).



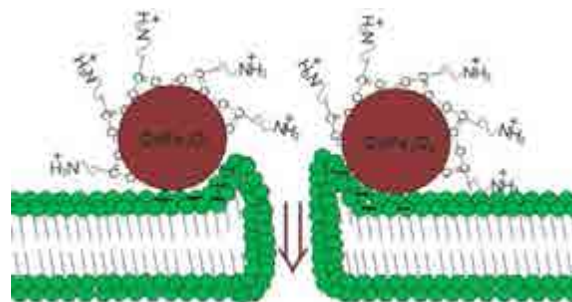
1 pav. $\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.8}\text{Fe}_2\text{O}_4$ ND TEM vaizdai bei dydžio pasiskirstymo diagrama.



2 pav. Kiekybinės analizės rezultatai: viršutinė eilutė – *C. albicans*, apatinė eilutė – *S. aureus* mikroorganizmų kolonijos užaugintos jas kultivuojant su (B,F) $\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.8}\text{Fe}_2\text{O}_4$, (C,G) $\text{Co}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$ ir (D,H) CoFe_2O_4 ND. Kontrolė – (A,E).

Antimikrobinės savybės buvo tiriamos tiek kokybiškai – lizės zonų metodu, tiek kiekybiškai – serijinio skiedimo metodu (2 pav).

Gauti rezultatai rodo, kad kuo daugiau kobalto nanodalelėje, tuo antimikrobinės savybės yra stipresnės. Jų veikimo principas pavaizduotas 3 pav.



3 pav. CoFe_2O_4 ND veikimo mechanizmas.

Literatūra

1. A. Huczko, Appl. Phys A, 2000. **70**(4): p. 365-376.

KESTERITO PIRMTAKO SLUOKSNIŲ FORMAVIMAS NAUDOJANT PRATEKAMĄ ELEKTROCHEMINĘ CELĘ

Audrius Drabavičius, Remigijus Juškėnas, Zenius Mockus, Raimundas Giraitis

Fizinių ir technologijos mokslų centras, Medžiagų struktūrinės analizės skyrius
Saulėtekio al. 3, LT-10257 Vilnius, el. p.: audrius.drabavicius@gmail.com

Cu-Sn pirmtakas suformuotas naudojant dviejų etapų elektrocheminį nusodinimą. Vario ir alavo dangos nusodintos iš atitinkamai vario sulfato citratinio ir alavo sulfato MSA (metansulfoninės rūgšties) tirpalų, vėlesniam įseleninimui.

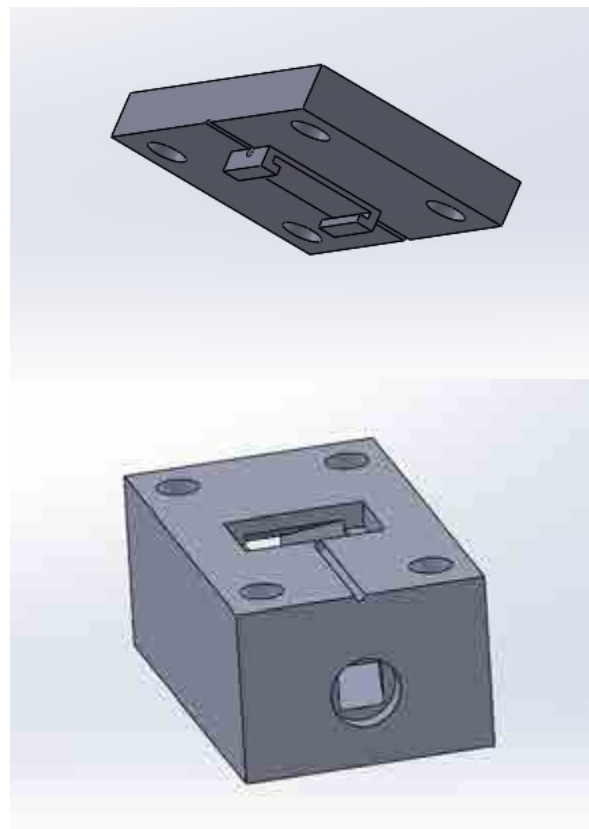
Voltamperometriniais tyrimams naudota trijų elektrodų sistema, darbinis – molibdenu dengtas stiklas, pagalbinis – platinos plokštelė ir palyginamasis – platinos vielos elektrodai.

Nagrinėti trys darbinio Mo elektrodo paruošimo elektrochemiam nusodinimui metodai: pramoninio valiklio DECON, Mo oksidų nutirpinimas NH_4OH tirpale ir magnetroninis ėsdinimas. Dėl paviršiaus pašaušimo (paviršiaus ploto padidėjimo nanometriniame lygmenyje) ir, gal būt, dėl to geriausių paviršiaus hidrofiliųjų savybių, Mo paviršiaus apdorojimui prieš elektrocheminį nusodinimą pasirinktas RF (radio frequency) magnetroninis ėsdinimas.

Sluoksniams elektrochemiškai formuoti naudota unikali 3D spausdinimo būdu pagaminta pratekama celė. Sluoksnių nusodinimui pasirinktos galvanostatinės sąlygos, iš voltamperogramų ir praktinių bandymų parinkti srovės tankiai (J_k) metalams nusodinti: variui – $2,5 \text{ mA/cm}^2$, alavui – $9,3 \text{ mA/cm}^2$. Darbinio Mo elektrodo plotas – $3,22 \text{ cm}^2$.

Sn nusodinimui naudotas tirpalas: $0,15 \text{ M SnSO}_4$, 1 M MSA (metansulfoninės rūgšties), 1 g/l hidrochinono, 1 ml/l Triton X-100 paviršiaus aktyviosios medžiagos. Alavo nusodinimui ištirta PAM kiekio (išmėgintas net PAM'ų mišinys) įtaka dangos formavimuisi.

Dėl alavo savybės elektrocheminio nusodinimo metu augti dideliais kristalais – salomis (angl., island growth) – naudotas padidinto pradinio srovės (28 mA/cm^2) impulso (1 s) metodas, siekiant suformuoti paviršiuje kuo didesnę kristalizacijos centrų kiekį. Toliau kristalizacijos taškai auga mažesniu greičiu (mažesni J_k), suformuodami tolygesnį ištisinį Sn sluoksnį.



1 pav. Pratekamos elektrocheminės celės 3D dalių maketai.

ALIUMINIO LYDINIŲ ANODAVIMAS SIEROS IR FOSFORO RŪGŠTYSE BEI DANGŲ SAVYBIŲ PALYGINIMAS

Tadas Matijošius, Ignas Valsiūnas, Svajus Asadauskas

Fizinių ir technologijos mokslų centras, Elektrocheminės medžiagotyro skyrius
Saulėtekio al. 3, LT-10257 Vilnius, el. p.: tadas.matijosius@ftmc.lt

Aliuminio (Al) gaminių paviršių apdirbimui taikomas anodavimas, kuris padidina paviršiaus kietumą, atsparumą korozijai, užtikrina dažų adheziją bei kitas technines savybes. Šiame darbe buvo siekiama suformuoti 20 μm ar storesnes anodines dangas, naudojant skirtingos sudėties elektrolitus ir esant temperatūrai, artimai kambario.

Naudojome 99,67% grynumo Al 1050 (SP MET) ir 96,72% grynumo Al 6082 (Aleris) Al lydinis. 16 mm diametro ir 2 mm storio bandiniai buvo pagaminti iš Al skardos. Prieš anodavimą Al bandiniai buvo išdinami 60 $^{\circ}\text{C}$ šarminiame tirpale (30 g/L NaOH + 25 g/L Na_3PO_4 + 75 g/L Na_2CO_3), po to 30% HNO_3 , plaunami dejonizuotame vandenyje ir tada anoduojami sieros/oksalo (175 g/L H_2SO_4 + 30 g/L $(\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ + 55,5 g/L $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) arba fosforo (40 g/L) elektrolituose. Buvo palaikoma 15 $^{\circ}\text{C}$ elektrolito temperatūra ir tolygus maišymas viso proceso metu. Anoduota esant 20 V (sieros/oksalo elektrolitui) arba 120 V (fosforo elektrolitui) įtampoms. Išbandytas anodavimas fosforo elektrolite su 10 g/L metanolio arba 3-300 g/L glicerolio priedais. Po 70 (H_2SO_4) arba 150 (H_3PO_4) min. anodavimo, bandiniai buvo 3-5 min. mirkomi dejonizuotame vandenyje ir džiovinami krosnyje 30 min. prie 50 $^{\circ}\text{C}$. Dangos storis buvo tikrinamas storio matuokliu CM-8825FN (Guangzhou Landtek Instruments Co.).

Paviršių nanotopografiniai tyrimai atlikti skenuojančiu elektroniniu mikroskopu Helios NanoLab 650 (FEI). Nanoskylių skaičius nustatytas 0,2x0,2 μm ploto vienetė, 3-4 atsitiktinėse zonose. Porėtumas (%) apskaičiuotas pagal aprašytą metodiką [1].

Paviršiaus šiurkštumo (Ra) nustatymui buvo panaudotas kontaktinis profilometras SurfTest SJ-210.

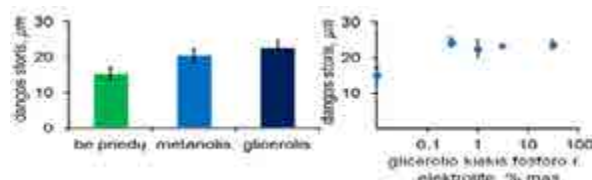
Atlikti tyrimai rodo, kad sieros/oksalo r. elektrolite susidaro kietos iki 60 μm storio anodinės dangos, kurioms būdingas mažesnis negu 20 nm nanoskylių dydis (1 lentelė). Tuo tarpu fosforo r. elektrolite formuojasi plonos dangos su didesnėmis nei 100 nm nanoskyliutėmis. Taip pat nustatyta, kad

anodavimo elektrolito sudėtis nežymiai keičia paviršiaus šiurkštumą. Šiurkštumas priklauso nuo Al lydinio savybių, apdirbimo būdo ir yra didesnis 6082 lydiniiui, kuris siekia iki 1,5 μm .

1 lentelė. Anodinių dangų charakteristikos

Elektrolitas	Sieros/oksalo (20 V)		Fosforo (120 V)	
	1050	6082	1050	6082
Lydinys	1050	6082	1050	6082
Vid. dangos storis, μm	59	56	7	6
Vid. paviršiaus šiurkštumas (Ra), μm	0,86	1,49	1,01	1,42
Vid. nanoskylių diametras, nm	7	15	110	119
Vid. nanoskylių tankis, skylių/ μm^2	1560	1040	22	4
Porėtumas, %	6	23	26	39

150 V anodavimo įtampa ir fosforo r. elektrolite esantys priedai, ypač glicerolis, padidina anodinės dangos storį iki 1,5 karto, tačiau didinant glicerolio koncentraciją iki 300 g/L anodinės dangos storis nekinta (1 pav.).



1 pav. Kairėje: skirtingų priedų (1% mas.) įtaka 1050 lydinio Al_2O_3 dangos storiui anoduojant fosforo r. elektrolite (150 min., 150 V). Dešinėje: glicerolio konc. įtaka anodinės dangos storiui.

Didesnis fosforo r. elektrolito klampumas anoduojant su gliceroliu mažina Al_2O_3 dangos tirpumą [2]. Tuo tarpu metanolis, turintis mažesnę garavimo temperatūrą nei vandens, daug efektyviau išlaiko temperatūros šuolius Al_2O_3 /elektrolito sąlyčio zonoje [3].

Literatūra

1. T. Matijošius, A. Ručinskienė, A. Selskis, G. Stalnionis, K. Leinartas, S.J. Asadauskas, Surf. Coat. Technol. **307**, 610–621 (2016).
2. T. Kikuchi, O. Nishinaga, D. Nakajima, J. Kawashima, S. Natsui, N. Sakaguchi, R.O. Suzuki, Sci. Rep. **4**:7411, 1–6 (2014).
3. L. Zaraska, G.D. Sulka, M. Jaskuła, J. Phys.: Conf. Ser. **146**, 1–6 (2009).

SUPERPARAMAGNETINIŲ KOBALTO FERITO NANODALELIŲ FUNKCIONALIZAVIMO AUKSU TYRIMAS

Agnė Mikalauskaitė, Arūnas Jagminas

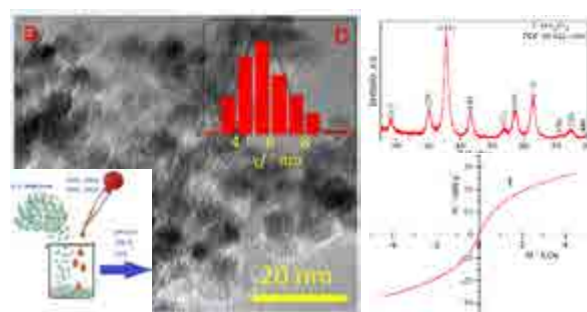
Fizinių ir technologijos mokslų centras, Elektrocheminės medžiagotyrų skyrius
Saulėtekio al. 3, LT-10257 Vilnius, el. p.: agne.mikalauskaite@ftmc.lt

Tyrėjų ir medikų dėmesys pastaruoju metu vis labiau krypta į nanodalelių panaudojimą ligos židinių diagnostikai, gydymui, ląstelių separavimui ir vaistų transportavimui. Teigiama, kad ateities medicinos pasiekimai neatsiejami nuo nanotechnologijų plėtros. Viena pagrindinių nanomedicinos vystymosi kryptų yra biologiškai suderintų nanodalelių sintezė, jų paviršiaus funkcionalizavimas, prikabinant antikūnų žymenis, ar funkcinės paskirties molekules ir taikymų paieška. Šių tyrimų erdvėje magnetinėms nanodalelėms šiuo metu skiriama itin daug dėmesio. Tai sąlygoja magnetito (Fe_3O_4), maghemito ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) bei feritų (MeFe_2O_4 , kur Me: Ni, Co, Zn) nanodalelių gamybos maža kaina, jų magnetinės savybės superparamagnetinėje būsenoje ir biosuderinamumas padengus polimeru, auksu ar baltymų luobele. Dėl mažos dispersijos, reikiamo dydžio magnetinių nanodalelių sintezė ir jų paviršiaus tikslinis funkcionalizavimas šiuo metu išlieka aštria problema.

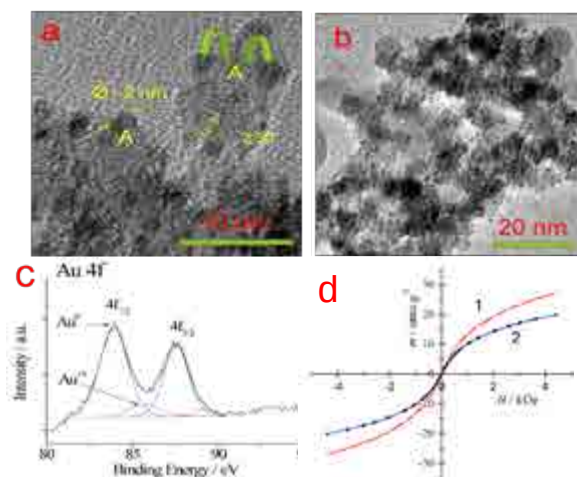
Pristatomas darbas skirtas kobalto ferito nanodalelių sintezei ir patikimesnio jų auksavimo būdo paieškai. Vykdamas aukso rūgšties redukciją ant kobalto ferito nanodalelių paviršiaus, buvo naudojama amino rūgštis D, L-metioninas ($\text{C}_5\text{H}_{11}\text{NO}_2\text{S}$).



1 pav. Kobalto ferito sintezės schema.



2 pav. a) Susintetintų kobalto ferito nanodalelių PEM vaizdas. b) Intarpe : histograma, demonstruoja dydžių pasiskirstymą log-normalinėje skalėje. c) RSD ir d) magnetiniai matavimai.



3 pav. a) ir b) CoFe_2O_4 @Met nanodalelių paviršiaus padengimo Au (I) PEM vaizdai. c) XPS grafikai, d) magnetiniai matavimai 1 prieš ir 2 po auksavimo.

Literatūra

1. Mikalauskaitė, A.; Kondrotas, R.; Niaura, G.; Jagminas A. J. Phys. Chem. C. 2015, **119**, 17398-17407.
2. Jagminas, A.; Mažeika, K.; Kondrotas, R.; Kurtinaitienė, M.; Jagminienė, A.; Mikalauskaitė, J. Nanomater. Nanotechn. 2014, **4**, 11| doi: 10.5772/58453, 9 p.

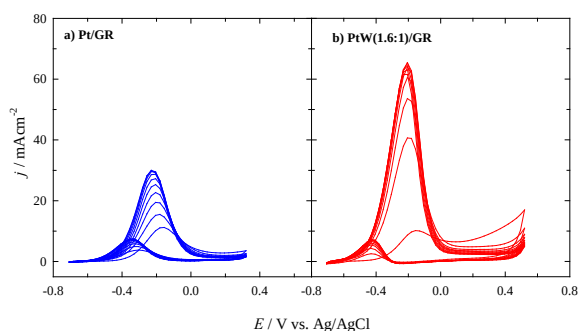
METANOLIO IR ETANOLIO OKSIDACIJOS ANT NANOSTRUKTŪRIZUOTŲ PTW/GRAFENAS KATALIZATORIŲ TYRIMAS

Teofilius Kilmonis, Loreta Tamašauskaitė Tamašiūnaitė

Fizinių ir technologijos mokslų centras, Katalizės skyrius
Saulėtekio al. 3, LT-10257 Vilnius, el. p.: teofilius.kilmonis@ftmc.lt

Šiame darbe PtW katalizatoriai, turintys skirtingus Pt:W molinius santykius, buvo nusodinti ant grafeno miltelių (GR) paviršiaus mikrobangų sintezės metodu. Reakcijos mišinys, susidedantis iš H_2PtCl_6 , Na_2WO_4 , grafeno miltelių ir etilenglikolio, maišomas ultragarsu 30 minučių. Sintezė vykdoma mikrobangų reaktoriuje Monowave 300 (Anton Paar) 150°C temperatūroje 30 minučių. Po sintezės katalizatoriai perplauti acetonu, ypač grynu vandeniu, nufiltruoti ir išdžiovinti vakuuminėje džiovyklėje 80°C temperatūroje 2 valandas.

Buvo susintetinti PtW/GR katalizatoriai, kuriuose Pt:W molinis santykis yra, atitinkamai, lygus 1.6:1, 2.4 ir 7:1. Palyginimui buvo susintetinti Pt/GR ir W/GR katalizatoriai. Nustatyta, kad Pt įkrova gautuose Pt/GR, PtW(1.6:1)/GR, PtW(2.4:1)/GR ir PtW(7:1)/GR katalizatoriuose yra, atitinkamai, 24, 54 ir 41 $\mu\text{g Pt cm}^{-2}$, o elektrochemiškai aktyvus Pt paviršiaus plotas šiuose katalizatoriuose yra, atitinkamai, 5,2, 5,8 ir 8,8 cm^2 . Pt/GR ir PtW/GR katalizatorių elektrokatalizinis aktyvumas buvo įvertintas metanolio ir etanolio oksidacijos reakcijoms, taikant ciklinę voltamperometriją, chronoamperometriją ir chronopotenciometriją.

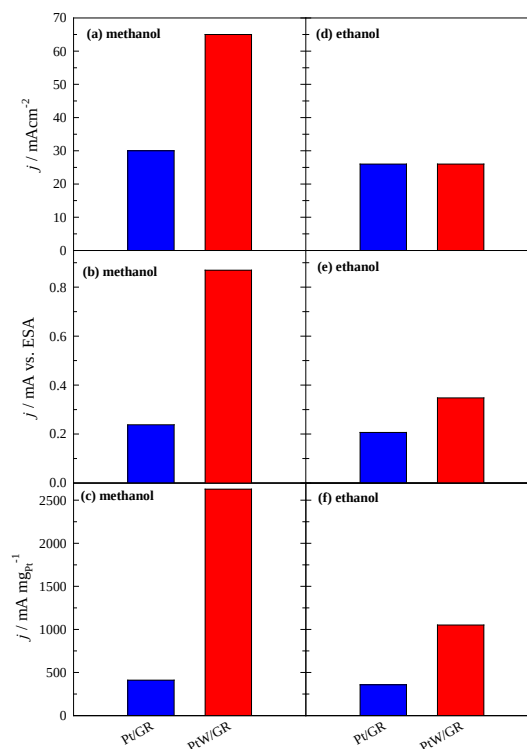


1 pav. Pt/GR ir PtW(1.6:1)/GR katalizatorių voltamperogramos, išmatuotos 1 M CH_3OH + 1 M NaOH, $v=50 \text{ mV s}^{-1}$.

Skleidžiant elektrodo potencialą į teigiamesnių verčių pusę, voltamperogramose stebimos anodinės smailė yra siejama, su metanolio oksidacija. Išmatuotos anodinės

šrovės tankio vertės yra ženkliai didesnės ant tiriamų PtW/GR katalizatoriaus negu ant Pt/GR katalizatoriaus (1 pav.).

Siekiant įvertinti katalizatorių specifinį ir masės aktyvumą, metanolio ir etanolio elektrooksidacijos šrovės tankio vertės smailėje buvo normalizuotos pagal elektrochemiškai aktyvų Pt paviršiaus plotą (2 pav. b,c) ir Pt įkrovą kiekvienam katalizatoriui (2 pav. e,f).



2 pav. Metanolio ir etanolio elektrooksidacijos specifinio (b,c) ir masės (e,f) aktyvumų stulpelinės diagramos, išmatuotos ant PtW(1.6:1)/GR katalizatoriaus.

Nustatyta, kad didesniu specifiniu ir masės aktyvumu metanolio ir etanolio oksidacijos reakcijoms pasižymėjo susintetinti PtW/GR katalizatoriai, lyginant su Pt/GR katalizatoriumi (2 pav.).

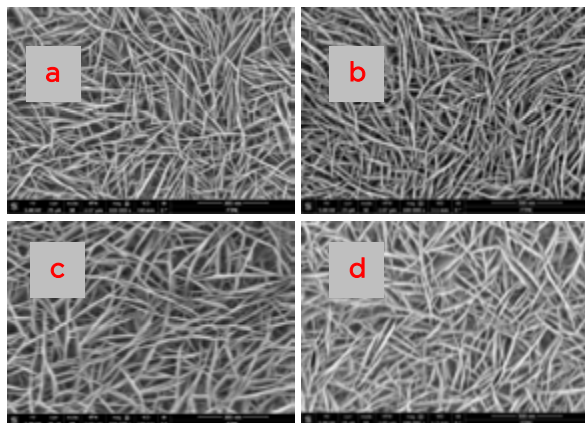
BOROHIDRIDO OKSIDACIJOS TYRIMAS ANT Pt DALELĖMIS MODIFIKUOTO Co, TURINČIO PLUOŠTELINĘ STRUKTŪRĄ, PAVIRŠIAUS

Aušrinė Zabielaite, Loreta Tamašauskaitė Tamašiūnaitė

Fizinių ir technologijos mokslų centras, Katalizės skyrius
Saulėtekio al. 3, LT-10257 Vilnius, el. p.: a.zabielaite@gmail.com

Šiame darbe Pt dalelėmis modifikuoto Co, turinčio pluoštelinę struktūrą ($\text{PtCo}_{\text{pluošt}}$), katalizatorių aktyvumas buvo tiriamas borohidrido oksidacijos reakcijai šarminėje terpėje. PtCo katalizatoriai buvo nusodinami ant Cu paviršiaus, naudojant elektrocheminius ir cheminius metodus. Co danga, turinti pluoštelinę struktūrą buvo elektrochemiškai nusodinta ant Cu paviršiaus. Pt nanodalelės buvo nusodintos ant $\text{Co}_{\text{pluošt}}/\text{Cu}$ paviršiaus, taikant galvaninio pakeitimo metodą. $\text{Co}_{\text{pluošt}}/\text{Cu}$ elektrodai buvo įmerkiami į 1 mM H_2PtCl_6 25 °C temperatūros tirpalą, atitinkamai, 10, 30 ir 60 s.

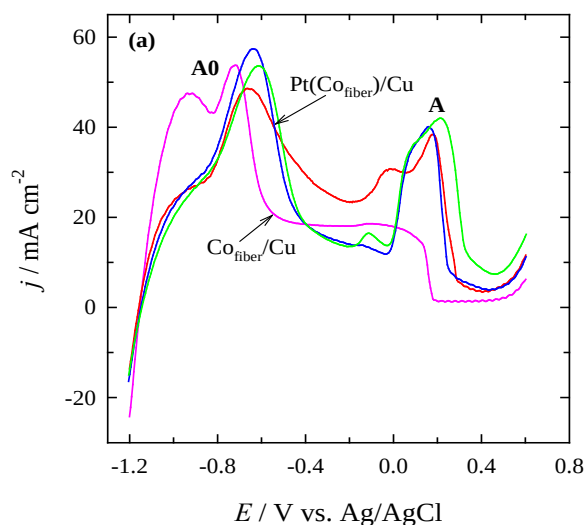
1 pav. pateikti SEM vaizdai $\text{Co}_{\text{pluošt}}/\text{Cu}$ (a) ir $\text{PtCo}_{\text{pluošt}}/\text{Cu}$ katalizatorių (b-d). Nustatyta, kad $\text{Co}_{\text{pluošt}}$ dangą sudaro Co pluošteliai, kurie yra apie 10 nm pločio ir 100 nm ilgio (1a pav.).



1 pav. SEM vaizdai $\text{Co}_{\text{pluošt}}/\text{Cu}$ (a) ir $\text{PtCo}_{\text{pluošt}}/\text{Cu}$ katalizatorių (b-d). $\text{PtCo}_{\text{pluošt}}/\text{Cu}$ katalizatoriai buvo gauti, įmerkiant $\text{Co}_{\text{pluošt}}/\text{Cu}$ elektrodą į 1 mM H_2PtCl_6 tirpalą, kai $T = 25^\circ\text{C}$, $t = 10$ (b), 30 (c) ir 60 (d) s.

Nusodintos Pt įkrova pagamintuose katalizatoriuose buvo nuo 5,4 iki 28,7 $\mu\text{g cm}^{-2}$. $\text{Co}_{\text{pluošt}}/\text{Cu}$ ir $\text{PtCo}_{\text{pluošt}}/\text{Cu}$ katalizatorių aktyvumas buvo tiriamas borohidrido oksidacijos reakcijai šarminėje terpėje, taikant ciklinę voltamperometriją.

2 pav. Stebimos anodinės smailės **A0** ir **A** ciklinėse voltamperogramose yra siejamos, atitinkamai, su Co oksidų/hidroksidų susidarymu ir tiesiogine borohidrido oksidacija.



2 pav. (a) Anodinio skleidimo kreivės $\text{Co}_{\text{pluošt}}/\text{Cu}$ (rožinė linija) ir $\text{PtCo}_{\text{pluošt}}/\text{Cu}$ su nusodintos Pt įkrova ($\mu\text{g cm}^{-2}$): 5,4 (raudona linija), 15,4 (mėlyna linija) ir 28,7 (žalia linija), užrašytų 0,05 M NaBH_4 ir 1 M NaOH tirpale, esant skleidimo greičiui 10 mV s^{-1} , $T = 25^\circ\text{C}$.

Išmatuotos NaBH_4 oksidacijos srovės tankio vertės smailėje **A** yra 3-4 karto didesnės ant tiriamų $\text{PtCo}_{\text{pluošt}}/\text{Cu}$ nei jos yra ant $\text{Co}_{\text{pluošt}}/\text{Cu}$ katalizatoriaus.

$\text{PtCo}_{\text{pluošt}}/\text{Cu}$ katalizatoriai yra perspektyvios, katalitiškai aktyvios medžiagos ir gali būti panaudojamos kaip anodo medžiagos šarminiuose borohidrido kuro elementuose.

SPARTUS SILIKATINIO STIKLO PJOVIMO METODAS PANAUDOJANT ESIKONU SUFORMUOTĄ ASIMETRINĮ BESELIO PAVIDALO PLUOŠTĄ

Juozas Dudutis, Rokas Stonys, Paulius Gečys

Fizinių ir technologijos mokslų centras, Lazerinių technologijų skyrius
Savanorių pr. 231, LT-02300 Vilnius, el. p.: juozas.dudutis@ftmc.lt

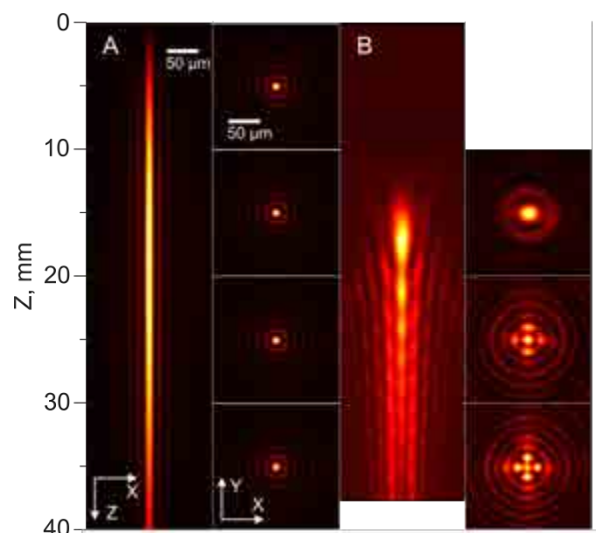
Modifikacijų suformavimas stiklo tūryje ir mechaninis perpjautų detalių perlaužimas yra vienas efektyviausių stiklo pjovimo metodų. Aštriai fokusuoti Gauso pavidalo pluoštai pasižymi trumpu difrakciniu nuotoliu, todėl, formuojant modifikacijas storo bandinio tūryje, lazerio pluoštas turi būti skenuojamas daugelį kartų. Tūrinių modifikacijų išilginis matmenis galima padidinti panaudojant Beselio pavidalo pluoštus, kurie pasižymi savirekonstrukcija, dideliu difrakciniu nuotoliu su mažu centrinės smailės diametru. Nors tokiais pluoštais pasiekiamas didelis išilginių modifikacijų ilgis, stiklo pjovimo greitis vis tiek yra apribotas modifikacijų skersiniu išplitimu. Panaudojant asimetrinius pluoštus galima kontroliuoti susiformuojančius stiklo įtrūkius ir ženkliai paspartinti pjovimo procesą [1].

Šiame darbe Beselio pavidalo pluoštas buvo formuojamas fokusuojant Gauso pluoštą eksikonu, kurio geometrija neatitiko idealaus kūgio formos ir turėjo gamybos metu dažnai pasitaikančius netobulumus – užapvalintą viršūnę [2–4] bei eliptinį pagrindą [5]. Suformuoto skirstinio intensyvumas už optinio elemento buvo registruojamas CCD kamera bei palygintas su modeliavimo rezultatais, gautais sprendžiant parabolinės difrakcijos lygtį [1, 6].

Smailos viršūnės eksikonu su apskritiminiu pagrindu suformuotas skirstinys pasižymi centrinės smailės invariantiškumu ir tolygiu ašinio intensyvumo kitimu išilgai pluošto sklaidimo ašies (1 pav. (A)). Palyginimui, eliptinio pagrindo kūgio formos eksikonu suformuoto pluošto centrinė smailė simetriškai išskysta į atskirus maksimumus, didėjant pluošto sklaidimo nuotoliui, tuo tarpu lęšio formos viršūnė lemia pluošto asimetriškumą XY plokštumoje (1 pav. (B)). Apdirbant stiklą tokiu pluoštu suformuojamos ilgos išilginės modifikacijos, o pluošto asimetriškumas lemia skersinių įtrūkių susiformavimą, kurie išplinta eliptinio pluošto išlosios ašies kryptimi.

Šiame darbe pademonstruota, kad tokios modifikacijos gali būti efektyviai panaudotos sparčiam 1 mm storio silikatinio stiklo pjovimui, kuomet skersiniai įtrūkiai orientuojami išilgai pluošto skenavimo krypties. Maksimalus stiklo

pjovimo greitis siekė 240 mm/s, panaudojant Atlantic HE (Ekspla) lazerio generuojamus 1064 nm bangos ilgio 300 ps trukmės impulsus, kurių energija 2 mJ, pasikartojimo dažnis 1 kHz. Stiklo laužimo jėgos įvertinimui buvo sukonstruota keturių taškų lenkimo sistema su skaitmeniniu dinamometru. Tyrimų metu nustatyta, jog egzistuoja optimalus skenavimo greitis, kuomet susiformuoja tolygi stiklo skilimo linija išilgai pjovimo kontūro ir pasiekama minimali laužimo jėga.



1 pav. Sumodeliuotas (A) ir eksperimentiškai išmatuotas (B) eksikonu su smaila viršūne ir apskritiminiu pagrindu (A) bei eksikonu su užapvalinta viršūne ir eliptiniu pagrindu (B) suformuoto pluošto intensyvumo skirstinys XZ ir XY plokštumose.

Literatūra

1. J. Dudutis, P. Gečys, and G. Račiukaitis, Opt. Express **24**, 28433-28443 (2016).
2. O. Brzobohatý, T. Cizmár, and P. Zemánek, Opt. Express **16**, 12688-12700 (2008).
3. P. Wu, C. Sui, W. Huang, Photonics Res. **2**, 82 (2014).
4. S. Akturk, B. Zhou, B. Pasquiou, M. Franco, A. Mysyrowicz, Opt. Commun. **281**, 4240-4244 (2008).
5. X. Zeng and F. Wu, Opt. Eng. **47**, 083401 (2008).
6. J. Dudutis, P. Gečys, and G. Račiukaitis, Proc. SPIE 10091 (2017).

DAUGIAKONTŪRINIŲ SVG IR JVG PROJEKTAVIMAS 65nm KMOP TECHNOLOGIJOJE

Vytautas Mačaitis, Romualdas Navickas

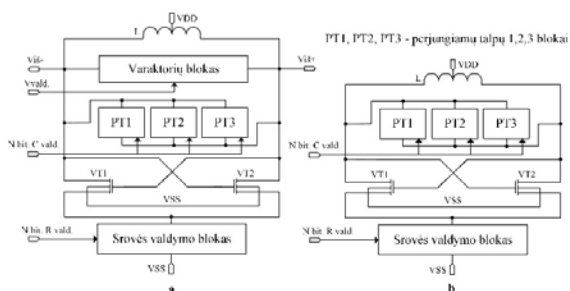
Fizinių ir technologijos mokslų centras, Medžiagotyros ir elektros inžinerijos skyrius
A. Goštauto 11, LT-01108 Vilnius, el. p.: vytautas.macaitis@ftmc.lt

Pastaraisiais metais vis daugiau žmonių naudojami išmaniosiomis bevielio ryšio technologijomis. Tai įtakoja spartų belaidžio ryšio perdavimo įtaisų tobulėjimą. Norint pasiekti didesnę belaidžių išmaniųjų prietaisų funkcionalumą, belaidžio ryšio standartų palaikymas vis labiau plečiamas.

Norint naudotis keliomis belaidžio ryšio technologijomis tame pačiame luste būtinas daugiastandartis, daugiajuostis siųstuvas - imtuvas (angl. multi-standard, multi-band transceiver). Dažniausiai tokie siųstuvai-imtuvai veikia dažnių ruože nuo 0,1 GHz iki 10 GHz.

Daugiastandarčiuose, daugiajuosčiuose siųstuvuose-imtuvuose kaip dažnio sintetizatorius naudojama fazės derinimo kilpa. Šis blokas gali būti visiškai skaitmeninis arba mišrus. Visiškai skaitmeninėje fazės derinimo kilpoje, dažnio generavimui, naudojamas skaitmeniniu būdu valdomas generatorius SVG, mišrioje fazės derinimo kilpoje naudojamas įtampa valdomas generatorius JVG.

Šiame darbe pateikti suprojektuotų LC tipo daugiakontūrinių SVG ir JVG kompiuterinio skaičiavimo pagrindiniai parametrai. Supaprastintos SVG ir JVG principinės elektrinės schemos pateiktos 1 paveiksle.



1 pav. Daugiakontūrinių LC-JVG (a) ir LC-SVG (b) supaprastintos principinės elektrinės schemos.

Pagrindinės LC-JVG dalys yra šios: aukštos kokybės induktyvumo ritė L, varaktorių ir perjungiamų talpų blokai (pastarieji elementai kartu su L sudaro LC kontūrą), neigiamo impedanso tranzistoriai VT1, VT2 ir srovės valdymo blokas. Pagrindinis LC-SVG skirtumas yra tas, kad norint išvengti papildomos valdymo

įtampos šioje struktūroje yra eliminuotas varaktorių blokas. Tokiu būdu dažnio derinimas vykdomas visiškai skaitmeniniu būdu. Siekiant praplėsti LC-SVG ir LC-JVG dažnio valdymo ruožą suprojektuoti trys perjungiamų talpų blokai.

Pagrindiniai suprojektuotų generatorių parametrai yra šie: integrinių grandynų gamybos technologinis žingsnis Tch. (nm), nešantysis dažnis F_c (GHz), dažnio valdymo ruožas ΔF (GHz), fazės triukšmas ties tam tikru poslinkio dažniu nuo nešančiojo dažnio FT (dBc/Hz), maitinimo įtampa U (V), vartojamoji galia P (mW) ir induktyvumo ritės kokybė Q.

Norint įvertinti ir palyginti generatorius yra naudojama kokybės funkcija FOM_T , pateikta (1) formulėje. Funkcija įvertina šiuos generatorių parametrus: nešantįjį dažnį F_0 ; dažnio valdymo ruožą ΔF ; fazės triukšmą FT ties tam tikru poslinkio dažniu ΔF bei vartojamąją galią P.

$$FOM_T = FT(dF) - 20 \log \left(\frac{F_0 \cdot \Delta F}{dF \cdot 10} \right) + 10 \log \left(\frac{P}{1mW} \right), \quad (1)$$

Generatorių projektavimas ir jų pagrindinių parametrų kompiuterinis skaičiavimas atliktas naudojant „Cadence“ integrinių grandynų (IG) projektavimo ir skaičiavimo programinį paketą. Principinių elektrinių schemų parametrai skaičiuoti esant šioms sąlygoms: maitinimo įtampa 1,8V, temperatūra 60°C, nominalus technologinis (IG) gamybos procesas.

Abu generatoriai naudoja tą pačią maitinimo įtampą bei IG gamybos technologinį žingsnį. Pagrindiniai skaičiavimo metu gauti parametrai pateikti sekančiai. Dažnio valdymo ruožas: LC-JVG - (2,64-6,72) GHz; LC-SVG - (2,37-5,94). Mažiausias fazės triukšmas ties 1 MHz poslinkio dažniu: LC-JVG - -132,1 dBc/Hz; LC-SVG - -135,5 dBc/Hz. Vartojamoji galia: LC-JVG - 25,4 mW; LC-SVG - 24,0 mW. Induktyvumo ritės kokybė (dažnių derinimo ruože): LC-JVG - (20,15-31,04); LC-SVG - (19,1-29,7). FOM_T kokybės funkcijos vertė: LC-JVG - -209,7 dBc/Hz; LC-SVG - -212,3 dBc/Hz.

DAIKTŲ INTERNETO TYRIMAMS SKIRTA PLATFORMA IoTBee

Gediminas Žukauskas, Vytautas Jonkus

Fizinių ir technologijos mokslų centras, medžiagotyros ir elektros inžinerijos skyrius
Saulėtekio al. 3, LT-10257 Vilnius, el. p.: gediminas.zukauskas.1989@gmail.com

Daiktų interneto tyrimams yra svarbu turėti aparatinę platformą, kurios pagrindu būtų atliekami eksperimentai. Pageidautina nustatyti netipinius radijo dalies parametrus. Kai kuriems tyrimams reikia turėti keliasdešimt daiktų interneto įrenginių. Pavyzdžiui, visi RF lustai registruoja RSSI vertę 1dB skyra, tačiau yra darbų [1], kuriuose didesne skyra registruojamos RSSI vertės leidžia atlikti subtilesnius eksperimentus. Galimybė matuoti RSSI vertę didesne skyra yra netipinė RF lusto galimybė ir tam reikia turėti tiek atitinkamą techninę, tiek programinę dalį.

Dėl šių priežasčių buvo sukonstruoti IoTbee daiktų interneto moduliai, kurie turi geras radijo ryšio charakteristikas, o savikaina yra santykinai maža.

IoTbee daiktų interneto platforma buvo panaudota tyrimui, kuriame radijo ryšio slopimas dėl augmenijos įtakos buvo registruojamas IoTbee moduliais ir lyginamas su Europos kosmoso agentūros Sentinel-2 palydovų pateikiamais augmenijos indeksais. Sentinel-2 palydovai yra neseniai pradėti eksploatuoti, jie registruoja augmenijos parametrus 10m² skyra, vienos dienos intervalu. Galimybė šiuos duomenis panaudoti radijo ryšio sklaidimo nuostoliams įvertinti yra labai pageidaujama, bet tam reikia atlikti išsamesnius tyrimus.

Daiktų interneto siųstuvo vietos nustatymas yra labai pageidaujama daiktų interneto tinklo galimybė. Pagrindiniai algoritmai kaip tai daroma: matuojama RSSI



1 pav. IoTbee platforma, daiktų interneto tyrimams atlikti.

IoTbee platforma veikia nelicenzijuojamame 868 MHz dažnio diapazone. RF dalis yra sukonstruota Texas Instrumens CC1200 lusto pagrindu. CC1200 lustas palaiko aparatinį paketų formavimą, (G)FSK2, (G)FSK4, ASK moduliācijas, keičiamą duomenų perdavimo spartą ir imtuvo dažnių juostos plotį. Maksimali galia - 14 dBm. Kadangi daiktų interneto įrenginiai paprastai yra maitinami iš baterijos, todėl naudojamos mažos RF siųstuvo galios. Dėl šios priežasties geras imtuvo jautrumas yra reikšmingiausias parametras. IoTbee imtuvo jautrumas pasiekiamas iki -125 dBm. Panaudojus temperatūriškai stabilizuotą kvarcinį rezonatorių, buvo pasiektas 1kHz RF nešlio dažnio stabilumas. Tai leido susiaurinti imtuvo priimamų dažnių juostą ir padidinti imtuvo jautrumą. Platformą valdo taupus Cortex M0 mikrovaldiklis, kurio funkcionalumas leidžia atlikti visus reikiamus tyrimus daiktų interneto sistemose.

vertė arba amplitudė ir fazė, ir sudaromas žemėlapis; matuojamas kampas, kuriuo ateina RF banga į anteną; matuojamas tikslus laikas tarp imtuvo ir siųstuvo [2]. Prie matavimo metodų yra pritaikomi matematiniai modeliai (Markovo modelis, dirbtiniai neuroniniai tinklai ir t.t.). Su IoTbee platforma bus sprendžiamas vietos nustatymo pastatų vidaus sąlygomis daiktų interneto sistemose uždavinys. Tikėtina, kad RSSI matavimas didesne nei 1dB skyra leis tiksliau nustatyti siųstuvo padėtį.

Literatūra

1. Luong, A. S. Abrar, T. Schmid, N. Patwari, *RSS Step Size: 1 Db is not Enough*, Proc. HotWireless '16 Proc. of the 3rd Workshop on Hot Topics in Wireless, Pages 17-21 (2016).
2. S. Palipana, B. Pietropaoli, D. Pesch, *Recent Advances in RF-Based Passive Device-Free Localization for Indoor Applications*, Ad Hoc Networks (2017).

LAZERINIO LAUKO ELEKTRONŲ GREITINTUVO PLAZMINIŲ PROFILIŲ FORMAVIMAS VIRŠGARSINIŲ MIKROTŪTŲ PAGALBA

Vidmantas Tomkus, Valdas Girdauskas, Gediminas Račiukaitis, Valdemar Stankevič

Fizinių ir technologijos mokslų centras, Lazerinių technologijų skyrius
Savanorių pr. 231, LT-02300 Vilnius, el. p.: vidmantas.tomkus@ftmc.lt

Lazerinio lauko plazmos greitintuvai pagreitina elektronus iki kelių GeV energijos per žymiai trumpesnį atstumą nei radijo dažnio sinchrotronai ir naudojami Rentgeno ir γ -spinduliuotės generacijai, medžiagotyrai bei vaizdinimui [1]. Siekiant optimizuoti elektronų greitinimo efektyvumą, sumažinti energijų sklaidą ir erdvinio elektronų pluošto diametrą, reikia formuoti specialius dujinių taikinių profilius, kurių parametrai priklauso nuo lazerinės spinduliuotės intensyvumo, galingumo, fokusavimo ir trukmės.

Dujinių taikinių formavimui buvo suprojektuotos ir pagamintos kelių tipų siaurėjančios kapiliarinės, Lavalio kūginės ir optimizuotų paviršių viršgarsinės mikrotūtos [2] bei jų sekos su kakliuko diametrais 0.05-1 mm ir išėjimo diametru 0.2 – 2 mm [3]. Tūtų gamybai panaudotos įvairios technologijos. 3D lazerinio akrilo polimerų ir metalo miltelių sukepinimo formavimo būdu buvo pagaminta vožtuvo tvirtinimo konstrukcija, dujų tiekimo kanalai ir tūtos su 0.5-1 mm diametro kakliuku. Lydyto kvarco ruošiniai buvo pagaminti nanosekundiniu lazeriu abliacijos būdu, o po to juose femtosekundinės lazerinės spinduliuotės pagalba buvo įrašytos 1-2 mm tūtų mikrostuktūros su 0.05 – 0.3 mm diametro kakliuku ir išsėdintos koncentruoto kalio šarmo ir 5-10% fluoro rūgšties tirpaluose.

Pagamintų tūtų formuojamų čiurkšlių dujų koncentracijos pasiskirstymo profiliai ore ir vakuume buvo tiriami helio-neono 632.8 nm lazeriu Macho-Zenderio interferometro pagalba [4]. Tyrimui naudotos 10 – 22 barų slėgio azoto ir helio dujos, dozuojamos Parker 9 mikrovožtuvo pagalba, leidžiančio formuoti impulsines čiurkšles 3 ms tikslumu. Mikrovožtuvo ir CCD kameros valdymas buvo sinchronizuojami išoriniu generatoriumi, siekiant sumažinti mechaninių virpesių poveikį ir vakuumo aplinkos slėgio pokytį čiurkšlių matavimo metu. Gautos interferogramos buvo skaitmeniškai apdorojamos, siekiant atstatyti suminį fazės pokytį ir dujų koncentracijos pasiskirstymą, taikant Abelio

transformaciją simetrinio profilio atveju ir tomografinius matavimus keliomis kryptimis nesimetrinio profilio atveju [5]. Kokybinis dujų koncentracijos pasiskirstymas papildomai buvo vertinamas temperatūros pokyčių pagalba, fotografuojant čiurkšlę FLIR kamera 8-12 mikronų spektriniame diapazone.

3D akrilo polimerų ir metalo miltelių sukepinimo suformuotų 3D struktūrų tikslumas siekia $\pm 0.2 - 0.3$ mm. Lydyto kvarco ruošinių ir kanalų, pagamintų nanosekundiniu lazeriu abliacijos būdu, tikslumas $\pm 0.05 - 0.1$ mm, o femtosekundinės lazerinės spinduliuotės pagalba įrašytų ir selektyviai išsėdintų struktūrų, priklausančių nuo gylio ir diametro santykio, tikslumas siekia $\pm 0.02-0.03$ mm.

Keičiant mikrotūtų tipą, tūtos paviršiaus formą, dujų įėjimo slėgį, buvo siekiama suformuoti plazmos profilius su elektronų koncentracija $5 \cdot 10^{18} - 2 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$. Šios koncentracijos reikalingos 40 mJ – 1 J energijos 7-30 fs 800 – 1030 nm bangos ilgio lazerinio lauko plazmos elektronų greitinimo optimizacijai, fokusuojant spinduliuotę į 5-20 mikronų FWHM skersmens plotą. Išilginis plazmos koncentracijos profilio formavimas leidžia keisti greitinamų elektronų kiekį, spinduliuotės fokusavimo nuotolį, fazės sinchronizaciją bei sumažinti elektronų energijos dispersiją, pluošto erdvinį pasiskirstymą ir padidinti generuojamos antrinės spinduliuotės koherentiškumą.

Literatūra

1. F. Albert, A. Thomas, Plasma Phys. Control. Fusion 58, 103001, (2016).
2. M. Sutton, O. Biblarz, *Rocket propulsion elements : an introduction to the engineering of rockets*, 45-102, (A Wiley-Intersc., 2001)
3. V. Tomkus, L. Rimgaila, V. Stankevič, G. Račiukaitis, Nuclear Photonics 2016, Monterey, Oct. 16-21, TuP42, (2016).
4. R. Azambuja, M. Eloy, G. Figueira, D. Neely, J. Phys. D: Appl. Phys. 32, L35-L43, (1999).
5. M. Hipp, J. Woisetschlager, P. Reiterer, T. Neger, Meas. 36 (1), 53-66, 116, 200, (2004).

DVIEJŲ PAKOPŲ ČIRPUOTŲ LAZERIO IMPULSŲ Yb:YAG STIPRINTUVAS SKIRTAS OPCPA KAUPINIMUI

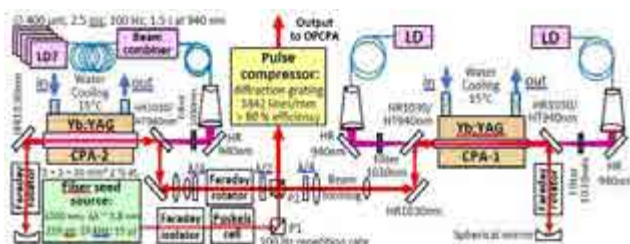
Paulius Mackonis¹, Aleksej Rodin^{1,2}, Augustinas Petrulėnas¹

¹Fizinių ir technologijos mokslų centras, Kieto kūno lazerių laboratorija, Savanorių pr. 231, 02300 Vilnius

²Ekspla UAB, Savanorių per. 237, 02300 Vilnius, el. p.: paulius.mackonis@ftmc.lt

Skaiduliniai lazeriai, kuriuose yra taikoma pasyvioji modų sinchronizacija, yra vertinami dėl geros pluošto kokybės, pagrindinių lazerio išvadinių parametų stabilumo, kompaktiškumo ir integracijos paprastumo. Galios ir energijos stiprinimas Nd:YAG [1] ir Yb:YAG [2] čirpuotų impulsų stiprintuvuose (toliau – CPA, angl. Chirped Pulse Amplifier), paremtu monokristaliniu šviesolaidžio pagrindu, išsiskiria apribotu kaupinimo pluošto sklidimu ir geresniu šilumos perdavimu. Lyginant Nd:YAG ir Yb:YAG kristalus, lterbiu legiruoti kristalai pasižymi daug mažesniu santykinu šilumu. Pagrindinis šio tyrimo tikslas – sukurti kompaktišką, nebrangią, modulinę dviejų pakopų CPA konfigūraciją 1 TW klasės OPCPA kaupinimui.

Pirmoje, dviejų praėjimų pro kristalą, CPA pakopoje (1 pav.) buvo ištirtas monokristalinis Yb:YAG šviesolaidis: "1×40 mm; 1% at. bei didesnio skersmens Yb:YAG strypai: 5×5×5 mm³, 5×5×20 mm³ ir 2×2×20 mm³; 2 %. Tyrimuose taikyti 210 ps trukmės, ~3.8 nm spektro pločio, 550 mW maksimalios vidutinės išvadinės galios, esant 100 Hz – 500 kHz pasikartojimo dažniams impulsai, iš skaidulinio lazerio su integruota pasyvia modų sinchronizacija. Didžiausia užkrato lazerių impulsų energija, esant 10 kHz pasikartojimo dažniui, siekė 15 μJ. Išilginiam, vieno arba dviejų galų, kristalo kaupinimui buvo naudojami didelio skaisčio 50 W ir 70 W galios 940 nm bangos ilgio lazeriniai diodai su integruota 105 μm šerdies skaidula. Atlikti tyrimai ir su mažesniu kvantiniu defektu pasižyminčiu 969 nm bangos ilgio 100 W galios diodu. Indukuotas šiluminis lėšis buvo kompensuojamas sferiniu veidrodžiu. (1 pav.).

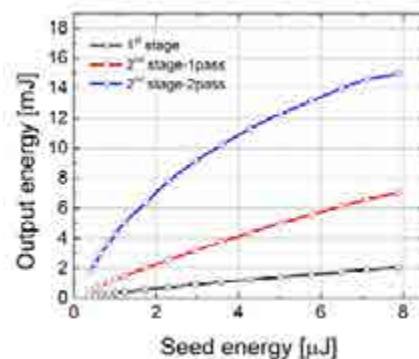


1 pav. Principinė dvipakopio dviejų praėjimų Yb:YAG čirpuotų impulsų stiprintuvo schema

Antrosios, dviejų praėjimų, CPA pakopos kaupinimui naudoti skaidulinio multipleksoriumi apjungti impulsai iš septynių lazerinių diodų. Jų bendra išvadinė energija sudarė ~1.5 J ties 940 nm bangos ilgiu esant 100 Hz pasikartojimo dažniui. Antroje CPA stiprintuvo pakopoje panaudotas 5×5×20 mm³ 2 % at. Yb:YAG strypas.

Optimizavus pirmos pakopos dviejų praėjimų stiprintuvą, skaidulinio lazerio užkrato impulsų stiprinimo koeficientas siekė – 42 dB. Pluošto sklidimo kokybė M^2 ~1.1 – 1.15. Maksimali išvadinė galia siekė ~50 W, esant 500 kHz pasikartojimo dažniui.

Nepaisant išvadinių impulsų spektro susiaurėjimo po stiprinimo iki 1.8–2 nm, taikant impulsų spūdą su 1600 mm⁻¹ rėžių tankio difrakcinę gardele, industriniam partneriui UAB Ekspla pademonstruotas derinamos impulsų trukmės: nuo kelių ps iki 600 fs hibridinio skaidulinio-kietakūnio lazerio maketas. Naudojant impulsų retintuvą, paremtą Pokelso narvelio pagrindu, buvo pademonstruoti ~3 mJ išvadinės energijos impulsai esant 100 Hz – 10 kHz pasikartojimo dažniams pirmoje pakopoje ir ~15 mJ (2 pav.) išvadinės energijos impulsai antroje stiprintuvo pakopoje.



2 pav. Yb:YAG stiprintuvo išvadinės energijos priklausomybės nuo užkrato energijos.

Literatūra

1. A.M. Rodin et al., "Beam quality investigation in Nd:YAG crystal fiber amplifier pumped at >110 W," Proc. SPIE, **9342** (2015) doi:10.1117/12.2079294.
2. X. Délen et al., "Yb:YAG single crystal fiber power amplifier for femtosecond sources," Optics Letters, **38**, 109-111 (2013) doi: 10.1364/OL.38.000109.

ŠVIESOS ĮTAKA HETEROSANDŪRINIŲ DIODŲ DETEKCINĖMS SAVYBĖMS

Maksimas Anbinderis, Aurimas Čerškus

Fizinių ir technologijos mokslų centras, Elektronikos skyrius
Saulėtekio al. 3, LT-10257 Vilnius, el. p.: maksimas.anbinderis@ftmc.lt

Mikrobangų jutikliai yra neatsiejama šiuolaikinio mūsų gyvenimo dalis. Jie padeda mums komunikuoti, orientuotis erdvėje, sekti savo kūno fizinę būseną ir atlikti dar daug mums būtinų veiksmų. Toks jutiklis turi būti jautriu mikrobangų spinduliuotei, pasižymėti dideliu voltvatinio jautriu. Taip pat mikrobangų jutiklis turi pasižymėti ir kitomis savybėmis: jo detektuojama įtampa turi minimaliai priklausyti nuo temperatūros, slėgio, drėgmės, apšvietos ir kitų aplinkos faktorių.

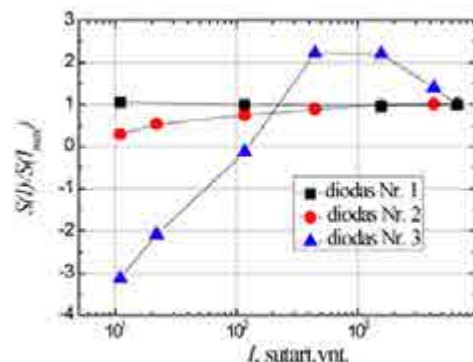
Pranešime nagrinėjama šviesos įtaką detektinėms savybėms, kai mikrobangų spinduliuotė veikia planarinius mikrobangų diodus $\text{GaAs}/\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ heterosandūros pagrindu. Buvo pagaminti ir tiriami diodai su skirtingomis heterosandūromis:

- $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{As}/\text{GaAs}$ (Nr. 1)
- $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}/\text{GaAs}$ (Nr. 2)
- $\text{GaAs}/\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ (Nr. 3)

Tokį $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ trinario junginio AlAs molinės dalies x pasirinkimą sąlygojo ta aplinkybė, jog būtent diodai su $x=0.3$ vertė junginyje parodė didžiausią heterosandūrinio diodo voltvatinio jautrio reikšmę [1]. Invertuota $\text{GaAs}/\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ heterosandūra eksperimentams buvo pasirinkta dėl efektyvesnio trinario junginio $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ apšvietimo.

Pagaminti mikrobangų diodai yra skirti aukštų dažnių (K_a dažnių ruožui ir aukštesniems) signalų detekcijai. Jų konstrukcija yra planarinė: abu diodo kontaktai yra toje pačioje plokštumoje, o puslaidininkinis darinys su metaliniais kontaktais yra perneštas ant elastingos kelių mikrometrų storio dielektrinės poliimido plėvelės. Heterosandūriniai diodai buvo gaminami iš molekulinį pluoštelių epitaksijos būdu užaugintų darinių. Diodų aukštadažnių parametrų matavimai buvo atliekami panaudojant Cascade Microtech zondinį manipuliatorių K_a dažnių juostoje. Ši matavimo metodika yra patogi kadangi galima atlikti diodų aukštadažnių parametrų matavimus tiesiai ant puslaidininkinės plokštelės, nedalinant jos į atskirus diodus, kas ženkliai paspartina matavimo procesą. Diodų

apšvietimui buvo naudojama plataus spektro balta šviesa ir monochromatinė lazerių bei šviesos diodų spinduliuotės. Eksperimentai buvo atliekami kambario temperatūroje.



1 pav. Heterosandūrinių mikrobangų diodų santykinio voltvatinio jautrio priklausomybė nuo apšvietos intensyvumo. Mikrobangų spinduliuotės dažnis 30 GHz. Diodai apšviečiami balta šviesa.

Šviesos įtaką heterosandūrinių diodų elektrinei varžai ir voltvatiniam jautriui aiškiname krūvininkų tankio kitimu heterosandūrinuose dariniuose veikiant šviesai. Skirtingą šviesos poveikį diodams su $x=0.25$ ir $x=0.3$ AlAs molinėmis dalimis lemia DX centrų susidarymas trinariame $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ junginyje, kai x vertė viršija 0.25 [2]. Didesnė šviesos įtaka invertuoto heterosandūrinio diodo atveju aiškinama tuo, jog šiuo atveju didesnio intensyvumo šviesa krinta į $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ sluoksnį, lyginant su diodu su $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}/\text{GaAs}$ heterosandūra.

Reikšminiai žodžiai: mikrobangų diodas, elektromagnetinės spinduliuotės detekcija, voltvatinis jautris, heterosandūra.

Literatūra

1. J. Gradauskas, A. Sužiedėlis, S. Ašmontas, E. Širmulis, V. Kazlauskaitė, A. Lučun, M. Vingelis, IEEE Sensors Journal, 10, 662 (2010).
2. T. F. Kuech, M. A. Tischler, M. Potemski, F. Cardone, G. Scilla, J. Cryst. Growth, 98, 174 (1989).